




**DETECTION OF END POINT USING LIGHT OF DIFFERENT WAVELENGTH**

**Patent number:** JP2000326220  
**Publication date:** 2000-11-28  
**Inventor:** BIRANG MANOOCHER; SCHOENLEBER WALTER; SWEDEK  
BOGUSLAW; WISWESSER ANDREA N  
**Applicant:** APPLIED MATERIALS INC  
**Classification:**  
- international: B24B37/04; B24B49/12; H01L21/304; H01L31/12  
- european: B24B37/04I; B24B49/04; B24B49/12; H01L21/306P  
**Application number:** JP20000015854 20000125  
**Priority number(s):** US19990237472 19990125; US19990300183 19990427

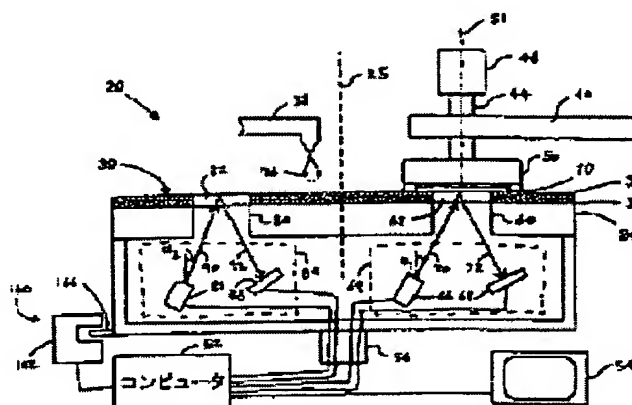
Also published as:

 EP1022093 (A)  
 US6190234 (B)  
 EP1022093 (A)

**Abstract of JP2000326220**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize the determination of a grinding end point with high accuracy by determining a grinding end point for determining whether a grinding process is finished or not, that is, whether a board layer is flattened to a desired flatness or thickness or not, by using the first and second optical systems and a processor.

**SOLUTION:** A chemical machine grinder 20 capable of grinding a board 10 includes a series of grinding stations. Abrasive pads 30 are mounted on rotatable platens 24 installed in the grinding stations. During a grinding process, the slurry including a reaction agent and a chemically reactable catalyst are supplied through a slurry/rinse arm 38. On this occasion, two optical systems 64, 84 respectively provided with a light source for emitting the ray of light having the different effective wavelengths to each other, and a sensor for receiving the reflected light are mounted at lower parts of the windows 62, 82 for measuring a thickness of the board 10 and grinding speed by an interferometer. The thickness of the board 10 is measured by a computer 52 on the basis of the first and second interference signals.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-326220

(P 2 0 0 0 - 3 2 6 2 2 0 A)

(43) 公開日 平成12年11月28日 (2000.11.28)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
B24B 37/04		B24B 37/04	K
49/12		49/12	
H01L 21/304	622	H01L 21/304	S
31/12		31/12	E

審査請求 未請求 請求項の数75 O L 外国語出願 (全92頁)

(21) 出願番号 特願2000-15854 (P 2000-15854)  
(22) 出願日 平成12年1月25日 (2000.1.25)  
(31) 優先権主張番号 09/237472  
(32) 優先日 平成11年1月25日 (1999.1.25)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)  
(31) 優先権主張番号 09/300183  
(32) 優先日 平成11年4月27日 (1999.4.27)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660  
アプライド マテリアルズ インコーポレ  
イテッド  
APPLIED MATERIALS, I  
NCORPORATED  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9505  
4 サンタ クララ パウアーズ アベニ  
ュー 3050  
(74) 代理人 100088155  
弁理士 長谷川 芳樹 (外2名)

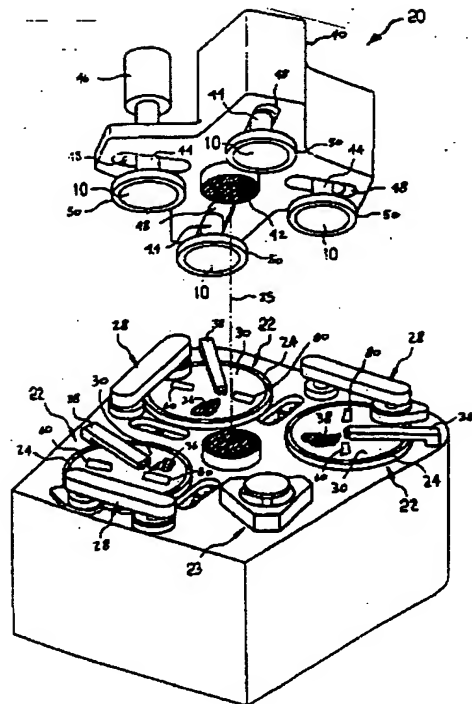
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異なる波長の光線を用いた終点検出

(57) 【要約】

【課題】 化学的機械研磨における研磨の終点を検出すること。

【解決手段】 化学的機械研磨装置は、順次使用され研磨終点を決定する、2つの光学システムを有する。第一光学システムは、基板の表面に当たる第一光線が発生させる為の第一光源、上記基板の表面から反射される光を測定して測定された第一干渉信号が発生させる為の第一センサを有する。第二光学システムは、基板の表面に当たる第二光線が発生させる為の第二光源、上記基板の表面から反射される光を測定して測定された第二干渉信号が発生させる為の第二センサを有する。上記第二光線は、上記第一光線とは異なる波長を有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第一面を有し、上記第一面の下にある第二面を有する基板を化学的機械研磨するのに使用する装置において：第一有効波長を有する第一光線を発生させて上記基板に当てる第一光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第一光線からの光を測定して第一干渉信号を発生させる第一センサを有する第一光学システムと；上記第一有効波長と異なる第二有効波長を有する第二光線を発生させて上記基板に当てる第二光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第二光線からの光を測定して第二干渉信号を発生させる第二センサを有する第二光学システムと；上記第一干渉信号及び上記第二干渉信号から厚さを決定するように構成されたプロセッサと；を備える装置。

【請求項 2】 上記第一光線及び上記第二光線は、上記基板に対し異なる波長を有する、請求項 1 記載の装置。

【請求項 3】 上記第一光線及び上記第二光線は、上記基板上に異なる入射角度を有する、請求項 1 記載の装置。

【請求項 4】 上記第一光線及び上記第二光線は、異なる波長を有する、請求項 3 記載の装置。

【請求項 5】 上記第一有効波長は、上記第二有効波長より大きい、請求項 1 記載の装置。

【請求項 6】 上記第一有効波長は、上記第二有効波長の整数倍でない、請求項 5 記載の装置。

【請求項 7】 少なくとも一つの光学システムは、軸外し光学システムである、請求項 1 記載の装置。

【請求項 8】 上記第一光学システム及び上記第二光学システムは、軸外し光学システムである、請求項 7 記載の装置。

【請求項 9】 上記第一光学システムは軸外し光学システムであり、上記第二光学システムは垂直軸光学システムである、請求項 7 記載の装置。

【請求項 10】 少なくとも上記光学システムの一つは、垂直軸光学システムである、請求項 1 記載の装置。

【請求項 11】 少なくとも上記第一光源および上記第二光源の一つは、発光ダイオードである、請求項 1 記載の装置。

【請求項 12】 上記第一光源は、第一コヒーレンス長を有する第一発光ダイオードであり、上記第二光源は、第二コヒーレンス長を有する第二発光ダイオードである、請求項 11 記載の装置。

【請求項 13】 上記第一コヒーレンス長は、上記基板における層を通る上記第一光線の光路長より長く、上記第二コヒーレンス長は、上記基板における上記層を通る上記第一光線の光路長より長い、請求項 12 記載の装置。

【請求項 14】 上記基板の上記第一面に接触する研磨パッドを更に備える、請求項 1 記載の装置。

【請求項 15】 上記研磨パッドを支えるプラテンを更

に備え、上記プラテンはアパーチャを有し、上記第一光線および上記第二光線が上記アパーチャを通過する、請求項 14 記載の装置。

【請求項 16】 上記研磨パッドを支えるプラテンを更に備え、上記プラテンは第一アパーチャおよび第二アパーチャを有し、上記第一光線が上記第一アパーチャを通過し、上記第二光線が上記第二アパーチャを通過する、請求項 14 記載の装置。

【請求項 17】 上記研磨パッドは、透明ウインドウを含み、上記第一光線および上記第二光線が上記ウインドウを通過する、請求項 14 記載の装置。

【請求項 18】 上記研磨パッドは第一透明ウインドウおよび第二透明ウインドウを含み、上記第一光線が上記第一ウインドウを通過し、上記第二光線が上記第二ウインドウを通過する、請求項 14 記載の装置。

【請求項 19】 上記第一有効波長は、上記第二有効波長より長い、請求項 1 記載の装置。

【請求項 20】 上記第一光線は第一波長を有し、上記第二光線は、上記第一波長より短い第二波長を有する、請求項 19 記載の装置。

【請求項 21】 上記第一波長は、約 600 ナノメートル及び 1500 ナノメートルの間にある、請求項 20 記載の装置。

【請求項 22】 上記第二波長は、約 300 ナノメートル及び 600 ナノメートルの間にある、請求項 20 記載の装置。

【請求項 23】 上記第一光線は、上記基板上の上記第二光線の入射角度より小さい、上記基板上の入射角度を有する、請求項 19 記載の装置。

【請求項 24】 上記プロセッサは、上記第一干渉信号に対する第一モデル強度関数、上記第二干渉信号に対する第二モデル強度関数を決定するように構成されている、請求項 1 記載の装置。

【請求項 25】 上記第一モデル強度関数および第二モデル強度関数は、正弦波関数である、請求項 24 記載の装置。

【請求項 26】 上記第一モデル強度関数は、第一期間、第一位相オフセットにより表され、上記第二モデル強度関数は、第二期間、第二位相オフセットにより表される、請求項 25 記載の装置。

【請求項 27】 上記第一期間と上記第一位相オフセットは、上記第一干渉信号からの強度測定値に対する上記第一モデル強度関数の最小自乗適合法から計算され、上記第二期間と上記第二位相オフセットは、上記第二干渉信号からの強度測定値に対する上記第一モデル強度関数の最小自乗適合法から計算される、請求項 26 記載の装置。

【請求項 28】 上記厚さは、第一整数、上記第一有効波長、上記第一期間、上記第一位相オフセットの関数である第一モデル厚さ関数によって、更に、第二整数、上

記第二有効波長、上記第二期間、上記第二位相オフセットの関数である第二モデル厚さ関数によって、算定することができ、上記プロセッサは、上記第一モデル厚さ関数および上記第二モデル厚さ関数から上記厚さにほぼ等しい推定値を与える、上記第一整数に対する第一数値と上記第二整数に対する第二数値を決定するように構成されている、請求項 2 6 記載の装置。

【請求項 2 9】 上記プロセッサは、

$$M = \left( \frac{\phi_2}{\Delta T_2} + N \right) \cdot \frac{\lambda_{eff}}{\lambda_{eff}} - \frac{\phi_1}{\Delta T_1}$$

に対する解を見出すことにより上記第一数値と第二数値を決定するように構成されており、ここで、Mは上記第一整数、Nは上記第二整数、 $\lambda_{eff1}$  は上記第一有効波長、 $\lambda_{eff2}$  は上記第二有効波長、 $\Delta T_1$  は上記第一期間、 $\Delta T_2$  は上記第二期間、 $\phi_1$  は上記第一位相オフセット、 $\phi_2$  は上記第二位相オフセットである、請求項 2 8 記載の装置。

【請求項 3 0】 上記厚さは、第一整数、上記第一有効波長、上記第一干渉信号の関数である第一モデル厚さ関数によって、更に、第二整数、上記第二有効波長、上記第二干渉信号の関数である第二モデル厚さ関数によって、算定することができ、

上記プロセッサは、上記第一整数に対する第一数値と上記第二整数に対する第二数値を決定するように構成され、それらは、上記第一モデル厚さ関数および上記第二モデル厚さ関数から上記厚さにほぼ等しい推定値を与える、請求項 2 4 記載の装置。

【請求項 3 1】 上記第一モデル厚さ関数は、第一期間の関数になっており、上記第二モデル厚さ関数は、第二期間の関数になっており、

上記プロセッサは、上記第一干渉信号から上記第一期間、上記第二干渉信号から上記第二期間を決定するように構成されている、請求項 3 0 記載の装置。

【請求項 3 2】 上記第一モデル厚さ関数は、第一位相オフセットの関数であり、上記第二モデル厚さ関数は、第二位相オフセットの関数であり、上記プロセッサは、上記第一干渉信号から上記第一位相オフセット、上記第二干渉信号から上記第二位相オフセットを決定するように構成されている、請求項 3 1 記載の装置。

【請求項 3 3】 上記プロセッサは、上記第一有効波長の関数である第一モデル厚さ関数と、上記第二有効波長の関数である第二モデル厚さ関数との関係を決し、上記第一モデル強度関数および上記第二モデル強度関数が、上記層の厚さにほぼ等しい推定値を与える、請求項 2 4 記載の装置。

【請求項 3 4】 第一面を有し、上記第一面の下にある第二面を有する基板を化学的機械研磨するのに使用する装置において：第一有効波長を有する第一光線を発生させて上記基板に当てる第一光源、更に、上記第一面及び

上記第二面から反射される上記第一光線からの光を測定して第一干渉信号を発生させる第一センサを有する第一光学システムと；上記第一有効波長と異なる第二有効波長を有する第二光線を発生させて上記基板に当てる第二光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第二光線からの光を測定して第二干渉信号を発生させる第二センサを有する第二光学システムと；を備える装置。

【請求項 3 5】 第一面を有し、上記第一面の下にある第二面を有する基板を化学的機械研磨するのに使用する装置において：研磨中、上記基板の上記第一面に接触する研磨パッドを支えるプラテンと、

第一有効波長を有する第一光線を発生させて上記基板に当てる第一光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第一光線からの光を測定して第一干渉信号を発生させる第一センサを有する第一光学システムと；上記第一有効波長と異なる第二有効波長を有する第二光線を発生させて上記基板に当てる第二光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第二光線からの光を測定して第二干渉信号を発生させる第二センサを有する第二光学システムと；上記第一干渉信号および上記第二干渉信号から厚さを決定するように構成されたプロセッサであって、上記厚さは、第一整数及び上記第一有効波長の関数である第一モデル厚さ関数によって、更に、第二整数及び上記第二有効波長の関数である第二モデル厚さ関数によって、算定することができ、上記プロセッサは、上記第一整数に対する第一数値と上記第二整数に対する第二数値を決定するように構成され、上記第一モデル厚さ関数および上記第二モデル厚さ関数から上記厚さにほぼ等しい推定値を与える、前記プロセッサと；とを備える装置。

【請求項 3 6】 第一面を有し、上記第一面の下にある第二面を有する基板を化学的機械研磨するのに使用する装置において：第一有効波長を有する第一光線を発生させて上記基板に当てる第一発光ダイオード、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第一光線からの光を測定して第一干渉信号を発生させる第一センサを有する第一光学システムと；上記第一有効波長と異なる第二有効波長を有する第二光線を発生させて上記基板に当てる第二発光ダイオード、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される第二光線からの光を測定して第二干渉信号を発生させる第二センサを有する第二光学システムと；を備える装置。

【請求項 3 7】 上記第一光線は、第一波長を有し、上記第二光線は、上記第一波長より短い第二波長を有する、請求項 3 6 記載の装置。

【請求項 3 8】 上記第一波長は、約 7 0 0 ナノメートルから 1 5 0 0 ナノメートルの間である、請求項 3 7 記載の装置。

【請求項 3 9】 上記第二波長は、約 3 0 0 ナノメートル

ルから700ナノメートルである、請求項37記載の装置。

【請求項40】 上記基板は、ウェハ上方に配置された薄膜構造内に層を有し、上記第一光線及び上記第二光線は、上記層を通過するとき上記第一光線及び上記第二光線のコヒーレンスを維持する為に十分に大きなコヒーレンス長を有する、請求項36記載の装置。

【請求項41】 上記第一光線の第一コヒーレンス長は、上記層を通る上記第一光線の光路長より大きく、上記第二光線の第二コヒーレンス長は、上記層を通る上記第二光線の光路長より大きい、請求項40記載の装置。

【請求項42】 ウェハ上方に配置された薄膜構造内に層を有し、かつ、第一面と、上記第一面の下にある第二面を有する基板の化学的機械研磨中、研磨の終点を検出する装置であって：上記基板の上記層に当たる光線を発生させる発光ダイオードであって、上記発光ダイオードにより放出された光線が、上記層を通る上記光線の光路長以上に大きいコヒーレンス長を有する、前記発光ダイオードと；上記第一面及び上記第二面から反射される上記光線から光を測定し、干渉信号を発生させる、センサと；上記干渉信号から研磨の終点を決定するように構成されたプロセッサと；を備える、装置。

【請求項43】 第一面を有し、上記第一面の下にある第二面を有する基板の化学的機械研磨中、研磨の終点を検出する装置において：第一有効波長を有する第一光線を発生させて上記基板に当てる第一光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第一光線からの光を測定して第一干渉信号を発生させる第一センサを有する第一光学システムと；上記第一有効波長と異なる第二有効波長を有する第二光線を発生させて上記基板に当てる第二光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第二光線からの光を測定して第二干渉信号を発生させる第二センサを有する第二光学システムと；上記第一干渉信号と上記第二干渉信号を比較し上記研磨の終点を検出するように構成されたプロセッサと；を備える装置。

【請求項44】 第一面と、上記第一面の下にある第二面を有する基板の化学的機械研磨中、厚さを測定する装置であって：異なる有効波長を有し上記基板に当たる第一光線と第二光線を発生させる手段と；上記第一面及び上記第二面から反射される上記第一光線及び上記第二光線から光を検出して第一干渉信号及び第二干渉信号を発生させる手段と；上記第一干渉信号及び上記第二干渉信号から厚さを決定する手段と；を備える装置。

【請求項45】 化学的機械研磨を受ける基板の層の厚さを決定する方法であって：上記基板に、第一有効波長を有する第一光線に向け、上記基板から反射される上記第一光線の光を測定することによって、第一干渉信号を発生させるステップと；上記基板に、上記第一有効波長とは異なる第二有効波長を有する第二光線に向け、上記

基板から反射される上記第二光線の光を測定することによって、第二干渉信号を発生させるステップと；上記第一干渉信号及び上記第二干渉信号から上記厚さを決定するステップと；を備える方法。

【請求項46】 上記厚さを決定するステップは、上記第一干渉信号に対し第一モデル強度関数、上記第二干渉信号に対し第二モデル強度関数を決定する工程を有する、請求項45記載の方法。

【請求項47】 上記第一モデル強度関数は、正弦波関数である、請求項46記載の方法。

【請求項48】 上記第一モデル強度関数は、第一期間および第一位相オフセットにより表され、上記第二モデル強度関数は、第二期間および第二位相オフセットにより表される、請求項47記載の方法。

【請求項49】 上記厚さを決定するステップは、上記第一期間および上記第一位相オフセットを上記第一干渉信号からの強度測定値に対する上記第一モデル強度関数の最小自乗適合法から計算する工程と、上記第二期間および上記第二位相オフセットを上記第二干渉信号からの強度測定値に対する上記第二モデル強度関数の最小自乗適合法から計算する工程と；を更に備える、請求項48記載の方法。

【請求項50】 上記厚さは、第一整数、上記第一有効波長、上記第一期間、上記第一位相オフセットの関数である第一モデル厚さ関数によって、更に、第二整数、上記第二有効波長、上記第二期間、上記第二位相オフセットの関数である第二モデル厚さ関数によって、算定することができ、

上記第一モデル厚さ関数および上記第二モデル厚さ関数から上記厚さにほぼ等しい推定値を与える、上記第一整数に対する第一数値と上記第二整数に対する第二数値を決定する工程を更に備える、請求項48記載の方法。

【請求項51】 上記第一数値及び上記第二数値を決定する工程は、

$$M = \left( \frac{\phi_2}{\Delta T_2} + N \right) \cdot \frac{\lambda_{eff}}{\lambda_{eff}} - \frac{\phi_1}{\Delta T_1}$$

に対する解を見出すことを含み、ここで、Mは上記第一整数、Nは上記第二整数、 $\lambda_{eff1}$  は上記第一有効波長、 $\lambda_{eff2}$  は上記第二有効波長、 $\Delta T_1$  は上記第一期間、 $\Delta T_2$  は上記第二期間、 $\phi_1$  は上記第一位相オフセット、 $\phi_2$  は上記第二位相オフセットである、請求項50記載の方法。

【請求項52】 上記厚さは、第一整数、上記第一有効波長、上記第一干渉信号の関数である第一モデル厚さ関数によって、更に、第二整数、上記第二有効波長、上記第二干渉信号の関数である第二モデル厚さ関数によって、算定することができ、

上記第一モデル厚さ関数および上記第二モデル厚さ関数から上記厚さにほぼ等しい推定値を与える、上記第一整

10

20

30

40

50

数に対する第一数値と上記第二整数に対する第二数値を決定することを更に含む、請求項 45 記載の方法。

【請求項 53】 上記厚さを決定する工程は、上記第一干渉信号を記述する第一期間を決定すること、上記第二干渉信号を記述する第二期間を決定することを含み、上記第一モデル厚さ関数は、上記第一期間の関数であり、上記第二モデル厚さ関数は、上記第二期間の関数である、請求項 52 記載の方法。

【請求項 54】 上記厚さを決定する工程は、上記第一干渉信号を記述する第一位相オフセットを決定すること、上記第二干渉信号を記述する第二位相オフセットを決定することを含み、上記第一モデル厚さ関数は、上記第一位相オフセットの関数であり、上記第二モデル厚さ関数は、第二位相オフセットの関数である、請求項 53 記載の方法。

【請求項 55】 上記第一光線及び上記第二光線は、異なる波長を有する、請求項 45 記載の方法。

【請求項 56】 上記第一光線及び上記第二光線は、上記基板上に異なる入射角度を有する、請求項 45 記載の方法。

【請求項 57】 上記第一光線及び上記第二光線は、異なる波長を有する、請求項 56 記載の方法。

【請求項 58】 基板の研磨中、研磨の終点を検出する方法であって：上記基板に、第一有効波長を有する第一光線に向け、上記基板から反射される上記第一光線の光を測定することによって、第一干渉信号を発生させるステップと；上記基板に、上記第一有効波長とは異なる第二有効波長を有する第二光線に向け、上記基板から反射される上記第二光線の光を測定することによって、第二干渉信号を発生させるステップと；上記第一干渉信号及び上記第二干渉信号を比較して研磨の終点を決定するステップと；を備える方法。

【請求項 59】 第一面を有し、上記第一面の下にある第二面を有する基板の化学的機械研磨中、研磨の終点を検出する装置において：第一光学システムを有する第一研磨ステーションであって、上記第一光学システムは、第一有効波長を有する第一光線を発生させ上記第一研磨ステーションで研磨されるとき上記基板に当てる第一光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第一光線からの光を測定して第一干渉信号を発生させる第一センサを有する、前記第一研磨ステーションと；第二光学システムを有する第二研磨ステーションであって、上記第二光学システムは、上記第一有効波長と異なる第二有効波長を有する第二光線を発生させ上記第二研磨ステーションで研磨されるとき上記基板に当てる第二光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第二光線からの光を測定して第二干渉信号を発生させる第二センサを有する、前記第二研磨ステーションと；上記第一干渉信号と上記第二干渉信号の各々から上記研磨の終点を検出する、少なくとも一つのプロセッサ

と；を備える装置。

【請求項 60】 上記第一有効波長は上記第二有効波長より大きい、請求項 59 記載の装置。

【請求項 61】 上記第一光線は、第一波長を有し、上記第二光線は、上記第一波長より短い第二波長を有する、請求項 60 記載の装置。

【請求項 62】 上記第一波長は、約 800 から 1400 ナノメートルの間にある、請求項 61 記載の装置。

【請求項 63】 上記第二波長は、約 400 から 700 ナノメートルの間にある、請求項 61 記載の装置。

【請求項 64】 第三光学システムを有する第三研磨ステーションであって、上記第三光学システムは、第三有効波長を有する第三光線を発生させ上記第三研磨ステーションで研磨されるとき上記基板に当てる第三光源、更に、上記第一面及び上記第二面から反射される上記第三光線からの光を測定して第三干渉信号を発生させる第三センサを有する、前記第三研磨ステーションを更に備える、請求項 59 記載の装置。

【請求項 65】 上記第三有効波長は、上記第二有効波長より小さい、請求項 64 記載の装置。

【請求項 66】 上記第三有効波長は、上記第二有効波長と等しい、請求項 64 記載の装置。

【請求項 67】 上記第一研磨ステーションと上記第二研磨ステーションとの間で基板を移動させるキャリアヘッドを更に備える、請求項 59 記載の装置。

【請求項 68】 各研磨ステーションは、上記第一光線及び上記第二光線の一つが上記基板に当たる為に通過するアパーチャを備えた回転自在のプラテンを含む、請求項 59 記載の装置。

【請求項 69】 各研磨ステーションは、対応するプラテン上で支えられた研磨パッドを含み、各研磨パッドは、上記第一光線及び上記第二光線の一つが通過して上記基板に当たるウインドウを有する、請求項 68 記載の装置。

【請求項 70】 化学的機械研磨方法であって：第一研磨ステーションで基板を研磨するステップと；第一有効波長を有する第一光線を上記基板に向け、上記基板から反射される上記第一光線からの光を測定することによって、第一干渉信号を発生させるステップと；上記第一干渉信号から第一終点を検出するステップと；上記第一終点を検出した後、上記第一有効波長とは異なる第二有効波長を有する第二光線を上記基板に向け、上記基板から反射される上記第二光線からの光を測定することによって、第二干渉信号を発生させるステップと；上記第二干渉信号から第二の終点を検出するステップと；を備える方法。

【請求項 71】 上記第一有効波長は、上記第二有効波長より大きい、請求項 70 記載の方法。

【請求項 72】 上記第一光線は、第一波長を有し、上記第二光線は、上記第一波長より短い第二波長を有す

る、請求項 7 1 記載の方法。

【請求項 7 3】 上記第一波長は、約 8 0 0 から 1 4 0 0 ナノメートルの間にある、請求項 7 2 記載の方法。

【請求項 7 4】 上記第二波長は、約 4 0 0 から 7 0 0 ナノメートルの間にある、請求項 7 2 記載の方法。

【請求項 7 5】 上記第二干渉信号を発生させるステップは、上記第一研磨ステーションで生じる、請求項 7 0 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【背景】本発明は、全体的に基板の化学的機械研磨に関し、特に、化学的機械研磨における研磨終点を検出する方法及び装置に関する。

【0 0 0 2】 通常、集積回路は、シリコンウエハ上に導体、半導体または絶縁体の層を順次堆積することにより、基板上に形成される。各層が堆積された後、当該層はエッチングされ、回路特徴を構築する。一連の層が、連続的に堆積されエッチングされるので、外側又は最上部の基板表面、すなわち、当該基板の露出面は、かなり非平面になる。この非平面は、集積回路作製プロセスの

フォトリソグラフィック段階で問題を提示する。そのため、定期的に基板表面を平坦化する必要性がある。

【0 0 0 3】 化学的機械研磨 (CMP) は、認められた平坦化方法の一つである。この平坦化方法は、通常、基板がキャリア又は研磨ヘッド上に装着されていることを必要とする。基板の露出面は、回転研磨パッドに対して置かれる。研磨パッドは、標準パッド又は固定研磨材パッドのいずれでもよい。標準パッドは、耐性のある粗い面を有するが、固定研磨材パッドは包含媒体に保持された研磨材粒子を有する。キャリアヘッドは、基板に制御可能な負荷、すなわち、圧力を与え、それを研磨パッドに押し付ける。少なくとも一つの化学反応物質を含む研磨スラリー、更に、標準パッドが使用される場合には研磨材粒子は、研磨パッドの表面に供給される。

【0 0 0 4】 CMP プロセスの結果は、その研磨速度により、更に、結果として生じる仕上げ (小規模粗さの不在) および平坦性 (大規模地勢の不在) により、測定可能である。研磨速度、仕上げ、平坦性は、パッドとスラリーとの組み合わせ、キャリアヘッド構造、基板とパッド間の相対速度、パッドに対する基板の押し付け力により、決定される。

【0 0 0 5】 異なる研磨工具およびプロセスの有効度を決定する為に、いわゆるブランクウエハ、すなわち、パターンを持たない以上の層を有するウエハが、工具／プロセス資格ステップで研磨される。研磨の後、残る層の厚さが基板面の幾つかの点で測定される。層の厚さにおける相違は、ウエハ表面の均一性の尺度、基板の異なる領域における相対的研磨速度の尺度を与える。基板の層の厚さ及び研磨の均一性を決定する一つの方法は、研磨装置から基板を除去し、それを検査することである。

例えば、基板は、基板の厚さが例えば偏光解析器により測定される計測学ステーションに移送されてもよい。残念ながら、このプロセスは、時間の浪費、そのため、高価になり、計測学的装置は高価である。

【0 0 0 6】 CMP における一つの問題は、研磨プロセスが終了したか、すなわち、基板層が所望の平坦あるいは厚さまで平坦化されたか、を決定することである。基板層の最初の厚さにおける相違、スラリーの構成内容、研磨パッドの材料及び状態、研磨パッドと基板間の相対速度、研磨パッド上の基板の荷重は、材料の除去速度において変異を生じ得る。これらの変動は、研磨の終点到達するのに要する時間における相違の原因になる。そのため、研磨の終点は、単に、研磨時間の関数として決定することはできない。

【0 0 0 7】 研磨の終点を決定する一つの方法は、研磨面から基板を除去し、それを検査することである。もし、基板が所望の仕様を満足しない場合、基板は、更なる処理の為に CMP 装置に再装填される。また、検査により、過剰な量の材料が除去されて、基板が使用不可能になったことが分かるかもしれない。そのため、その場で、いつ所望の平坦性や厚さに到達したかを検出する方法が必要である。

【0 0 0 8】 現場研磨終点検出のため、幾つかの方法が開発されてきた。これらの方法のほとんどは、基板面に付随したパラメータをモニタする工程、そのパラメータが突然変わったときに終点を表示する工程を含む。例えば、絶縁体または誘電体の層が研磨され、下にある金属層が露出する場合、金属層が露出したとき、摩擦係数および基板の反射率が突然変わる。

【0 0 0 9】 モニタされたパラメータが研磨終点で突然変わる理想的なシステムでは、そのような終点検出方法は許容される。しかし、基板が研磨されるとき、研磨パッドの状態やパッド-基板界面でスラリーの構成内容が変わるかもしれない。そのような変更は、下にくる層の露出を隠すかもしれないし、それらが終点の状態を模写するかもしれない。さらに、そのような終点検出方法は、単に平坦化が行われるとき、下にくる層が過剰に研磨されるとき、或いは、下にくる層と上にくる層が同一の物性を有するとき、機能しないであろう。

【0 0 1 0】 前述した見解において、研磨プロセスをいつ停止するかを精度良く、信頼性良く決定する研磨終点検出器が必要である。また、CMP プロセス中、基板上の層の厚さを現場で決定する手段が必要である。

【0 0 1 1】

【概要】本発明は、化学的機械研磨中に基板を現場で光学的にモニターすることに関する。基板における層の厚さは、測定可能であり、厚さ決定は、CMP プロセスの終点を決定する為、CMP プロセス中にウエハ上に残っている膜厚を決定する為、CMP プロセス中にウエハから除去された材料の厚さを決定する為に使用可能であ



る。

【0012】一つの態様において、本発明は、第一面と、その第一面の下にある第二面を有する基板を化学的機械研磨する為の装置に向けられている。当該装置は、第一光学システム、第二光学システム、プロセッサを有する。第一光学システムは、第一有効波長を有し基板に当たる第一光線を発生する第一光源と、第一干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第一光線から光を測定する第一センサとを含む。第二光学システムは、第一有効波長とは異なる第二有効波長を有し基板に当たる第二光線を発生する第二光源と、第二干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第二光線から光を測定する第二センサとを含む。プロセッサは、第一干渉信号および第二干渉信号から厚さを決定するように構成されている。

【0013】本発明の実施には、第一光線及び第二光線が異なる波長または異なる基板入射角を有してもよい。第一有効波長は、第二有効波長より大きくてもよいが、第二有効波長の整数倍でなくてもよい。各光学システムは、軸外し又は軸上光学システムでもよい。第一光源及び第二光源の少なくとも一つは、発光ダイオードを有してもよい。第一光源は、第一コヒーレンス長を備えた第一発光ダイオード、第二光源は、第二コヒーレンス長を備えた第二発光ダイオードでもよい。第一コヒーレンス長は、表面層を通る第一光線の光路長より長くてもよく、第二コヒーレンス長は、表面層を通る第二光線の光路長より長くてもよい。装置は、研磨中に基板の第一面に接触する研磨パッドと、その研磨パッドを支えるプラテンとを有してもよい。プラテンは、第一光線が通過する第一アパーチャと、第二光線が通過する第二アパーチャとを有してもよい。研磨パッドは、第一光線及び第二光線が通過する透明ウインドウを含んでもよく、あるいは、研磨パッドは、第一光線が通過する第一ウインドウと、第二光線が通過する第二ウインドウとを含んでもよい。第一光線は、例えば約600から1500ナノメートルの間の第一波長、第二光線は、第一波長より短い第二波長、例えば約300から600ナノメートルの間の波長でもよい。第一光線は、第二光線の基板上の第二入射角より小さい、基板上の入射角を有してもよい。

【0014】プロセッサは、基板の研磨中、初期厚さを決定するように構成されてもよい。プロセッサは、第一干渉信号の為の第一モデル強度関数、更に、第二干渉信号の為の第二モデル強度関数を決定するように構成されてもよい。第一モデル強度関数と第二モデル強度関数は、正弦波関数でもよく、例えば、第一期間、第一位相オフセット、第二期間、第二位相オフセットにより、それぞれ記述される。第一期間と第一位相オフセットは、第一干渉信号からの強度測定値に対する第一モデル強度関数の最小自乗適合法から計算することが可能であり、第二期間と第二位相オフセットは、第二干渉信号からの

強度測定値に対する第二モデル強度関数の最小自乗適合法から計算することが可能である。第一整数、第一有効波長、第一期間、第一位相オフセットの関数である第一モデル厚さ関数により、更に、第二整数、第二有効波長、第二期間、第二位相オフセットの関数である第二モデル厚さ関数により、厚さは推定することが可能である。プロセッサは、上記第一整数に対する第一数値、第二整数に対する第二数値を決定するように構成され、これらは、第一モデル厚さ関数と第二モデル厚さ関数から、ほぼ等しい厚さの推定値を与える。プロセッサは、次の数式に対する解を見つけることにより、第一数値と第二数値を決定するように構成されてもよい。

【0015】

【数式1】

$$M = \left( \frac{\phi_2}{\Delta T_2} + N \right) \cdot \frac{\lambda_{eff2}}{\lambda_{eff1}} - \frac{\phi_1}{\Delta T_1}$$

【0016】ここで、Mは上記第一整数、Nは上記第二整数、 $\lambda_{eff1}$ は上記第一有効波長、 $\lambda_{eff2}$ は上記第二有効波長、 $\Delta T_1$ は上記第一期間、 $\Delta T_2$ は上記第二期間、 $\phi_1$ は上記第一位相オフセット、 $\phi_2$ は上記第二位相オフセットである。

【0017】他の態様において、本発明は、第一面と、その第一面の下にある第二面とを有する基板を化学的機械研磨する為に使用する装置に向けられている。その装置は、基板に当たる第一光線を発生させる第一光源、第一干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第一光線から光を測定する第一センサを含む第一光学システムと、基板に当たる第二光線を発生させる第二光源、第二干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第二光線から光を測定する第二センサを含む第二光学システムとを有する。第一光線は、第一有効波長を有し、第二光線は、第一有効波長とは異なる第二有効波長を有する。

【0018】他の態様において、本発明は、第一面と、その第一面の下にある第二面とを有する基板を化学的機械研磨する為に使用する装置に向けられている。その装置は、第一光学システムと第二光学システムを有する。第一光学システムは、基板に当たる第一光線を発生させる第一発光ダイオード、第一干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第一光線から光を測定する第一センサを含む。第二光学システムは、基板に当たる第二光線を発生させる第二発光ダイオード、第二干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第二光線から光を測定する第二センサを含む。第一光線は、第一有効波長を有し、第二光線は、第一有効波長とは異なる第二有効波長を有する。

【0019】本発明の実施には、第一光線が例えば約700から1500ナノメートルの間の第一波長を有し、第二光線が例えば約300から700ナノメートルの間



の第一波長より短い第二波長を有してもよい。基板は、ウエハにわたり配置された薄膜構造の層を有してもよく、第一光線及び第二光線は、当該層を通過するように第一光線及び第二光線の可干渉性を維持する為に十分に大きなコヒーレンス長を有してもよい。

【0020】他の態様において、本発明は、第一面と当該第一面の下にある第二面とを有してウエハにわたって配置された層を有する基板の化学的機械研磨中、研磨終点を検出する装置に向けられている。当該装置は、基板の層に当たる光線を発生させる発光ダイオードと、干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される光線から光を測定するセンサと、干渉信号から研磨終点を決定するように構成されたプロセッサとを有する。発光ダイオードから放出される光線は、当該層を通る光線の光路長以上のコヒーレンス長を有する。

【0021】また、更なる態様において、本発明は、ウエハにわたって配置された薄膜構造内に層を有する基板を化学的機械研磨する為に使用する終点検出器に向けられている。基板は、第一面と、その第一面の下にある第二面を有する。終点検出器は、第一光学システムと、第二光学システムと、プロセッサとを有する。第一光学システムは、基板に当たる第一光線を発生させる第一光源と、第一干渉信号を発生させる為に、内側表面および外側表面から反射される第一光線から光を測定する第一センサとを含む。第二光学システムは、基板に当たる第二光線を発生させる第二光源と、第二干渉信号を発生させる為に、内側表面および外側表面から反射される第二光線から光を測定する第二センサとを含む。第一光線は、第一有効波長を有し、第二光線は、第一有効波長とは異なる第二有効波長を有する。プロセッサは、第一干渉信号と第二干渉信号とを比較し、研磨終点を検出する。

【0022】また、更なる態様において、本発明は、第一面と、第一面の下にある第二面とを有する基板を化学的機械研磨中、厚さを決定する装置に向けられている。当該装置は、異なる有効波長を有し基板に当たる第一光線と第二光線を発生させる手段と、第一干渉信号及び第二干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第一光線及び第二光線からの光を検出する手段と、第一干渉信号及び第二干渉信号から厚さを決定する手段とを有する。

【0023】また、更なる態様において、本発明は、第一面と、その第一面の下にある第二面とを有する基板を化学的機械研磨中、厚さを測定する装置に向けられている。その装置は、異なる有効波長を有し基板に当たる第一光線及び第二光線を発生させる手段と、第一干渉信号及び第二干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第一光線及び第二光線からの光を検出する手段と、第一干渉信号及び第二干渉信号から厚さを決定する手段とを有する。

【0024】また、更なる態様において、本発明は、化

学的機械研磨を受ける基板において、厚さを決定する方法に向けられている。第一干渉信号は、第一有効波長を有する第一光線を当該基板に向けること、更に、当該基板から反射された第一光線から光を測定することにより生成され、第二干渉信号は、第二有効波長を有する第二光線を当該基板に向けること、更に、当該基板から反射された第二光線から光を測定することにより生成される。第一有効波長は、第二有効波長とは異なる。厚さは、第一干渉信号と第二干渉信号とから決定される。

【0025】当該方法の実施は、以下の点が含まれる。第一モデル強度関数と第二モデル強度関数は、第一干渉信号と第二干渉信号に対し決定することが可能である。第一モデル強度関数と第二モデル強度関数は、正弦波であり、それぞれが期間および位相オフセットにより記述することが可能である。各モデル強度関数の期間及びオフセットは、干渉信号からの強度測定値に対するモデル強度関数の最小自乗適合法から算出することが可能である。厚さは、第一整数、第一有効波長、第一期間、第一位相オフセットの関数である第一モデル厚さ関数によって、更に、第二整数、第二有効波長、第二期間、第二位相オフセットの関数である第二モデル厚さ関数によって、推定することが可能である。どれが、ほぼ等しい推定値の厚さを与えるかは、第一モデル厚さ関数及び第二モデル厚さ関数から、第一整数に対する第一数値と第二整数に対する第二数値により決定してもよい。第一数値及び第二数値の決定は、次の数式に対する解を見つける工程を含んでもよく、

【0026】

【数式2】

$$M = \left( \frac{\phi_2}{\Delta T_2} + N \right) \cdot \frac{\lambda_{eff2}}{\lambda_{eff1}} - \frac{\phi_1}{\Delta T_1}$$

【0027】ここで、Mは上記第一整数、Nは上記第二整数、 $\lambda_{eff1}$  は上記第一有効波長、 $\lambda_{eff2}$  は上記第二有効波長、 $\Delta T_1$  は上記第一期間、 $\Delta T_2$  は上記第二期間、 $\phi_1$  は上記第一位相オフセット、 $\phi_2$  は上記第二位相オフセットである。

【0028】また、更なる態様において、本発明は、基板の研磨中、研磨終点を検出する方法に向けられている。第一干渉信号は、第一有効波長を有する第一光線を基板に向け、基板から反射される第一光線から光を測定することによって生成され、第二干渉信号は、第二有効波長を有する第二光線を基板に向け、基板から反射される第二光線から光を測定することによって生成される。第一有効波長は、第二有効波長とは異なる。第一干渉信号と第二干渉信号は、研磨終点を決定する為に比較される。

【0029】他の態様において、本発明は、第一面と、その第一面の下にある第二面を有する基板を研磨する化学的機械研磨装置に向けられている。当該装置は、第一

光学システムを備えた第一研磨ステーション、第二光学システムを備えた第二研磨ステーション、更に、少なくとも一つのプロセッサを有する。第一光学システムは、第一研磨ステーションで研磨されるとき当該基板に当たるように第一光線を発生させる第一光源、第一干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第一光線から光を測定する為の第一センサを含む。第二光学システムは、第二研磨ステーションで研磨されるとき当該基板に当たるように第二光線を発生させる第二光源、第二干渉信号を発生させる為に第一面及び第二面から反射される第二光線から光を測定する為の第二センサを含む。第一光線は、第一有効波長を有し、第二光線は、第一有効波長とは異なる第二有効波長を有する。プロセッサは、それぞれ、第一干渉信号及び第二干渉信号から第一研磨ステーション及び第二研磨ステーションで研磨終点を決定する。

【0030】本発明の実施は、以下の特徴を含んでもよい。第一有効波長は、第二有効波長より大きくてもよい。第二光線は、例えば約400から700ナノメートルの間の第二波長を有し、それは、例えば約800から1400ナノメートルの間にある第一光線の第一波長より短い。第三研磨ステーションは第三光学システムを有することも可能であり、それは、第三研磨ステーションで研磨されるとき基板に当たるように第三光線を生成する為に第三光源、第三干渉信号を生成する為に第一面及び第二面から反射される第三光線から光を測定する為に第三センサを含む。第三光線は、第二有効波長以下の第三有効波長を有してもよい。キャリアヘッドは、基板を第一研磨ステーションと第二研磨ステーションとの間で移動することが可能である。各研磨ステーションは、アパーチャ付きの回転可能なプラテンを有し、それを通じて、第一光線及び第二光線のいずれか一方が通過して基板に当たる。各研磨ステーションは、また、対応するプラテン上に支えられた研磨パッドを含み、各研磨パッドは、第一光線及び第二光線の一つが通過して基板に当たるウインドウを有する。

【0031】他の実施例において、本発明は化学的機械研磨方法に向けられている。この方法において、基板は第一ステーションで研磨され、第一干渉信号は、第一有効波長を有する第一光線を基板に向けること、更に、当該基板から反射される第一光線から光を測定することによって生成され、第一終点は第一干渉信号から検出される。第一終点の検出後、第二干渉信号は、第二有効波長を有する第二光線を基板に向けること、更に、当該基板から反射される第二光線から光を測定することによって生成され、第二終点は第二干渉信号から検出される。第二有効波長は、第一有効波長とは異なる。

【0032】本発明の利点は、以下の通りである。2つの光学システムを用いて、基板の、初期及び残りの層の厚さ推定値を生み出すことができる。異なる有効波長で

動作する2つの光学システムを使うことにより、以前に単一光学システムを用いて得られたパラメータのより正確な決定が可能になる。

【0033】本発明の他の特徴及び利点は、図面及び請求の範囲を含む、以下の説明から明らかになる。

【0034】

【詳細な説明】図1、図2を参照すると、一以上の基板10は、化学的機械研磨(CMP)装置20で磨かれる。同様の研磨装置の説明は、その全体の開示内容が参照形式で本願に導入される、米国特許第5,738,574で見つけることができる。研磨装置20は、一連の研磨ステーション22と搬送ステーション23を含む。搬送ステーション23は、個々の基板10を充填装置(図示せず)から受け取ること、基板を洗浄すること、基板をキャリアヘッド内に充填すること、キャリアヘッドから基板を受け取ること、基板を再び洗浄すること、最後に、基板を充填装置に戻すこと、を含む複数の機能を与える。

【0035】各研磨ステーションは、回転可能なプラテン24を含み、その上に研磨パッド30が置かれる。第一ステーション及び第二ステーションは、硬い耐久性のある外面を備えた2層研磨パッドを含むが、最後の研磨ステーションは比較的に柔らかいパッドを含む。基板10は、8インチ(200ミリメートル)又は12インチ(300ミリメートル)径のディスクである場合、プラテン及び研磨パッドはそれぞれ約20インチ又は30インチ径になる。各プラテン24は、プラテン駆動モータ(図示せず)に連結してもよい。低回転速度または高回転速度が使用されるが、ほとんどの研磨プロセスに対し、プラテン駆動モータはプラテン24を30から200回転/分で回転させる。各研磨ステーションは、研磨パッドの条件を維持する為にパッド調節装置28も含むので、効率良く基板を研磨する。

【0036】通常、研磨パッド30は、裏付け層32を有し、それは、プラテン24と被覆層34とに接しており、被覆層が基板10を研磨する為に使用される。通常、34は、裏打ち層より硬い。しかし、あるパッドは、被覆層だけを有し、裏打ち層を持たない。被覆層34は、連続気泡発泡ポリウレタン又は1枚の溝面付きポリウレタンで構成されてもよい。裏打ち層32は、ウレタンでこされた圧縮フェルトファイバで構成されてもよい。IC-1000で構成された被覆層とSUBA-4で構成された裏打ち層を備えた二層研磨パッドは、デラウェア州ニューワークのRodel社より入手可能である(IC-1000及びSUBA-4はRodel社の製品名である。)

【0037】反応剤を含むスラリー36(例えば、酸化物研磨用の脱イオン水)及び化学反応性触媒(例えば、酸化物研磨用のポタジウム水酸化物)は、スラリー供給口または混合されたスラリー/リンサーーム38によって研磨

10

20

30

40

50

パッド 38 表面に供給されてもよい。研磨パッド 30 は、標準パッドであり、スラリ 36 は、研磨材粒子（例えば、酸化珪素）も含んでもよい。

【0038】4つのキャリアヘッドを備えた回転可能なカルーセル 40 は、センターポスト 42 により研磨パッドの上方で支えられている。カルーセルモータアセンブリ（図示せず）は、キャリアヘッドとそれに取り付けられた基板を、研磨ステーション及び搬送ステーション間の軌道に乗らせる。キャリア搬送用駆動シャフト 44 は、キャリアヘッド回転モータ 46（図 2 参照）を各キャリアヘッド 50 に連結するので、各キャリアは、独立して自分自身の軸の周囲に回転することができる。さらに、スライダ（図示せず）は、付随したラジアルスロット 48 内で、各駆動シャフトを支える。ラジアル駆動モータ（図示せず）は、横方向にキャリアヘッドを振動させる為にスライダを移動させてもよい。操作中、プラテンは、その中心軸 25 の周りを回転し、キャリアヘッドは、その中心軸 51 の周りを回転して研磨パッドの表面にわたり横方向に並進する。

【0039】キャリアヘッド 50 は、幾つかの機械的機能を実行する。一般的にキャリアヘッド 50 は、研磨パッドに対し基板を保持し、基板の裏面にわたり下方圧力を均一に分布させ、駆動シャフトからトルクを基板に伝え、基板が研磨操作中にキャリアヘッドの下から滑り落ちないことを確実にする。キャリアヘッドの記述は、Steven M. Zuniga 等により 1997 年 5 月 21 日に出版された、本発明の譲受人に譲渡された、「化学的機械研磨用フレキシブル部材を備えたキャリアヘッド」という名称の米国特許出願第 08/861,260 で見つけることが可能であり、その全ての開示内容は本願に参照形式で導入される。

【0040】図 2、図 3 を参照すると、2つの穴やアパーチャ 60、80 は、プラテン 24 に形成されており、2つの透明ウインドウ 62、82 は、それぞれ穴 60、80 の上にある研磨パッド 30 に形成されている。穴 60、80 は、プラテン 24 の反対側、例えば 180 度離れて、形成されてもよい。同様に、ウインドウ 62、82 は、それぞれ穴 60、80 の上方の研磨パッド 30 の反対側に形成されてもよい。透明ウインドウ 62、82 は、Manoocher Birang 等により 1996 年 8 月 26 日に出版された、本発明の譲受人に譲渡された、「化学的機械研磨装置用研磨パッドの透明ウインドウを形成する方法」という名称の米国特許出願第 08/689,930 で説明されているように構成することが可能であり、その全ての開示内容は参照形式で本願に導入される。穴 60、80 と透明ウインドウ 62、82 は、キャリアヘッド 50 の並進位置に拘わらず、少しばかりのプラテンの回転中に、それらが夫々、交互に基板 10 の視界を与えるように配置されている。

【0041】基板の厚さ、研磨速度の干渉計上の測定の

為、2つの光学システム 64、84 は、それぞれ、ウインドウ 62、82 の下のプラテンの下方に配置されている。光学システムは、プラテンと共に回転し、それによってウインドウに対して固定位置を維持するように、プラテンに固定されてもよい。第一光学システムは、「軸外し」システムであり、このシステムにおいて、光は非垂直の角度で基板に当たる。光学システム 64 は、第一光源 66 及び第一センサ 68、例えばフォトダイオードを含む。第一光源 66 は、透明ウインドウ 62 とパッド（図 4 参照）上のあらゆるスラリ 36 を通って伝播する第一光線を発生させ、基板 10 の露出表面に衝突する。光線 70 は、基板 10 の露出面に対し垂直な軸から  $\alpha_1$  の角度で光源 66 から投射される。伝播角度  $\alpha_1$  は、0 度から 45 度の間、例えば 16 度にしててもよい。一つの実施において、光源 66 は、約 600 から 1500 ナノメートル（nm）、例えば 670 nm の波長を有するレーザービームを発生させるレーザーである。穴 60 とウインドウ 62 が細長い場合には、ビームエキスパンダ（図示せず）を光線 70 の光路に配置し、その光線をウインドウの細長い軸に沿って拡大してもよい。

【0042】第二光学システム 84 も同様に、第二光源 86 と第二センサ 88 を備えた「軸外し」の光学システムであっててもよい。第二光源 86 は、第一光線 70 の第一波長とは異なる第二波長を有する第二光線 90 を発生させる。特に、第二光線 90 の波長は、第一光線 70 の波長より短くてもよい。一実施において、第二光源 86 は、約 300 から 500 nm の間、例えば 470 nm の波長を有する光線を発生させるレーザーである。光線 90 は、基板の露出面に対し垂直の軸から  $\alpha_2$  の角度で光源 86 から投射される。投射角度  $\alpha_2$  は、0 度から 45 度の間であり、例えば約 16 度であっててもよい。穴 80 とウインドウ 82 が細長い場合、他のビームエキスパンダ（図示せず）が、光線 90 の光路に置かれ、ウインドウの細長い軸に沿って光線を拡大してもよい。

【0043】光源 66、86 は、連続して動作させてもよい。代替的に、光源 66 は、ウインドウ 62 がほぼ基板 10 の近くにあるときに光線 70 を発生させるように作動し、光源 86 は、ウインドウ 82 が基板 10 のほぼ近くにあるときに光線 90 を発生するように作動させてもよい。

【0044】CMP 装置 20 は、ウインドウ 62、82 が基板の近くにあるときに検出する為に、位置センサ 160 を含んでもよい。プラテン 24 は CMP 処理中に回転することから、プラテンのウインドウ 62、82 は、プラテン 24 の回転の一部の間、基板 10 の視界を有するだけである。スラリからの見せかけの反射、干渉計信号との混信から保持リングを防止する為、光線 70、90 の一つが基板 10 に衝突するときだけ、光学システム 64、84 から検出信号がサンプリングされる。位置センサは、基板 10 がウインドウの一つの上にくるときだ

け、検出信号がサンプリングされることを確実にするものである。ホール効果、渦電流、光学インタラプタ、音響センサのような、どのような周知の近接センサでも使用可能である。特に、位置センサ 160 は、CMP 装置のシャシ上の固定点、例えばキャリアヘッド 50 から 90 度の位置で互いに反対側に装着された、2つの光学インタラプタ 162、164（例えば、LED/フォトダイオード対）を含んでもよい。位置フラグ 166 は、プラテンの周辺に取り付けられている。フラグ 166 の取り付け点と長さ、光学インタラプタ 162、164 の位置は、ウインドウ 62 が基板 10 の下を撫でるときにフラグが光学インタラプタ 162 を始動させ、ウインドウ 82 が基板 10 の下を撫でるときにフラグが光学インタラプタ 164 を始動させるように選択される。検出器 68 からの出力信号は、光学インタラプタ 164 がフラグにより始動されるとき、測定され保存されてもよい。位置センサの使用は同様に、前述した米国特許出願第 08/689,930 でも検討されている。

【0045】操作中、CMP 装置 20 は、基板面から除去された材料の量を決定するか、その表面が平坦化されたときを決定する為に、光学システム 64、84 を使用する。光源 66、86、検出器 68、88、センサ 160 は、多目的プログラム可能なデジタルコンピュータやプロセッサ 52 に接続されてもよい。回転継手 56 は、光源 66、86 及び検出器 68、88 に対し、更に、これらからの、電力及びデータ用接続を与えてもよい。光学インタラプタから入力信号を受信する為、検出器からの強度測定値を保存する為、出力装置 54 に強度測定値を表示する為、強度測定値から取り除かれた量と残りの厚さ、初期厚さ、研磨速度を算出する為、更に、研磨終点を検出する為、コンピュータ 52 はプログラムされてもよい。

【0046】図 4 を参照すると、基板 10 は、シリコンウエハ等のウエハ 12、上に横たわる薄膜構造 14 を含む。薄膜構造は、透明又は部分的に透明な、誘電層のような外層、例えば、酸化層を含み、同様に、透明又は部分的に透明又は反射性であってもよい、一以上の下に横たわる層を含むことが可能である。

【0047】第一光学システム 64 では、基板 10 に当たる光線 70 の一部は、薄膜構造 14 の第一面、例えば外層の表面で部分的に反射され、第一反射光線 74 を形成する。しかし、光の一部は、薄膜構造 14 も貫通して伝送される。伝送光線 76 からの光の少なくとも幾らかは、下に横たわる一以上の表面によって、例えば、構造 14 内の、下に横たわる一以上の層によって、および/または、ウエハ 12 の表面によって、反射されて第二の反射光線 78 を形成する。第一反射光線 74 および第二反射光線 78 は、それらの位相関係に依存して建設的又は破壊的に干渉し、合成された戻り光線 72 を形成する（図 2 も参照）。反射された光線の位相関係は、主とし

て、薄膜構造 14 の層または複数層の厚さや反射の指数、光線 70 の波長、入射角度  $\alpha_1$  の関数である。

【0048】図 2 に戻ると、戻り光線 72 は、スラリ 36 及び透明ウインドウ 62 を通って検出器 68 に伝播している。反射された光線 74、78 が互いに同位相である場合、それらは、検出器 68 で最大値 ( $I_{max}$ ) になる。一方、反射された光線 74、78 が位相を異にしている場合、それらは検出器で最小値 ( $I_{min}$ ) になる。他の位相関係は、検出器で見られる最大値及び最小値間の干渉信号を生じるであろう。その結果は、構造 14 内の層又は複数層の厚さと共に変わる検出器 68 からの信号出力である。

【0049】構造 14 内の層又は複数層の厚さは、基板が磨かれるにつれて時間と共に変化するので、検出器 68 からの信号出力は、同様に、時間にわたり変化する。検出器 6 の出力を変える時間は、現場反射率測定軌跡（又は「反射率軌跡」）として呼ばれてもよい。この反射率軌跡は、研磨終点を検出すること、CMP プロセスを特徴付けること、CMP 装置が適切に動作しているか感知することを含む、いろいろな目的に使用することが可能である。

【0050】図 5 を参照すると、第二光学システム 84 では、光線 90 の第一部分は、薄膜構造 14 の表面層によって部分的に反射され、第一反射光線 94 を形成する。その光線の第二部分は、薄膜構造 14 を通って伝送され、伝送光線 96 を形成する。伝送された光線 96 の少なくとも幾分かは、例えば、構造 14 内の、下に横たわる層の一つによって、又は、ウエハによって、反射されて第二反射光線 98 を形成する。第一反射光線 94、第二反射光線 98 は、それらの位相関係に依存して、建設的或いは破壊的に互いに干渉し、合成された戻り光線 92 を形成する（図 2 も参照）。反射光線の位相関係は、構造 14 内の層又は複数層の厚さや反射の指数、光線 90 の波長、入射角度  $\alpha_2$  の関数である。

【0051】合成された戻り光線 92 は、スラリ 36 と透明ウインドウ 82 を通って検出器 88 に伝播する。反射された光線 94、98 間の時変・位相関係は、薄膜構造 14 における層又は複数層の時変膜厚に関連した検出器 88 での最小値 ( $I_{min}$ ) 及び最大値 ( $I_{max}$ ) の時変干渉パターンを創るであろう。そのため、検出器 88 からの信号出力も、薄膜構造 14 内の層又は複数層の厚さと共に変わり、第二反射軌跡を創る。光学システムは、異なる波長を有する光線を用いるので、各光学システムの時変反射軌跡は、異なるパターンを有するであろう。

【0052】ブランク基板、すなわち、薄膜構造内に層または複数層がパターン化されていない基板が研磨されているとき、検出器 68、88 によるデータ信号出力は、薄膜構造の表面層から反射される光線の一部と、薄膜構造 14 の、下に横たわる層又は複数層やウエハ 12

から反射される光線の一部との間の干渉の為、周期的である。したがって、CMPプロセス中に取り除かれた材料の厚さは、データ信号の周期（又は周期のフラクショナル）を数え、どれだけの材料が周期当たり取り除かれたかを算出し、周期数の製品、周期当たり除去された厚さを算出することによって決定することができる。この数が、取り除かれるべき所望の厚さ及びその比較に基づき制御されたプロセスと比較される。基板から取り除かれた材料の量の算出は、上記米国特許出願第08/689,930でも検討されている。

【0053】図6、図7を参照し、基板10が「ブランク」であると仮定すると、合成された光学システム6

$$I_1(T_{\text{measure}}) = k_1 \cdot \frac{I_{\text{max}1} + I_{\text{min}1}}{2} + \frac{I_{\text{max}1} - I_{\text{min}1}}{2} \cdot \cos \left( \frac{\phi_1 + T_{\text{measure}}}{\Delta T_1} 2\pi \right) \quad (3)$$

【0056】ここで、 $I_{\text{max}1}$ 及び $I_{\text{min}1}$ は、正弦波の最大振幅及び最小振幅、 $\phi_1$ はモデル関数120の位相差、 $\Delta T_1$ はモデル関数120の正弦波のピーク間周期、 $T_{\text{measure}}$ は測定時間、 $k_1$ は振幅調整係数である。最大振幅 $I_{\text{max}1}$ と最小振幅 $I_{\text{min}1}$ は反射軌跡100からの最大及び最小強度測定値を選択することにより決定してもよい。モデル関数120は、適合プロセスによって、例えば、従来の最小自乗適合法によって、反射軌跡100の観察された強度測定値に適合する。位相差 $\phi_1$ 及びピー

$$I_2(T_{\text{measure}}) = k_2 \cdot \frac{I_{\text{max}2} + I_{\text{min}2}}{2} + \frac{I_{\text{max}2} - I_{\text{min}2}}{2} \cdot \cos \left( \frac{\phi_2 + T_{\text{measure}}}{\Delta T_2} 2\pi \right) \quad (4)$$

【0059】ここで、 $I_{\text{max}2}$ 及び $I_{\text{min}2}$ は、正弦波の最大振幅及び最小振幅、 $\phi_2$ はモデル関数130の位相差、 $\Delta T_2$ はモデル関数130の正弦波のピーク間周期、 $T_{\text{measure}}$ は測定時間、 $k_2$ は振幅調整係数である。最大振幅 $I_{\text{max}2}$ と最小振幅 $I_{\text{min}2}$ は反射軌跡110からの最大及び最小強度測定値を選択することにより決定してもよい。モデル関数130は、適合プロセスによって、例えば、従来の最小自乗適合法によって、反射軌跡110の観察された強度測定値に適合する。位相差 $\phi_2$ 及びピーク間周期 $\Delta T_2$ は、適合係数であり、数式2で最適化される。振幅調整係数 $k_2$ は、適合プロセスを改善する為、使用者により設定されてもよく、約0.9の数値を有する。

【0060】実際の研磨速度は研磨プロセス中に変更可能なので、推定研磨速度を算出する為に使用される研磨

$$P = \frac{\lambda}{\Delta T \cdot 2n_{\text{layer}} \cos \alpha'}$$

【0063】ここで、 $\lambda$ はレーザービームの波長、 $n_{\text{layer}}$ は薄膜層の反射指数、 $\alpha'$ は薄膜層を通るレーザー光線の角度、 $\Delta T$ は最も新しく算出されたピーク間周期である。角度 $\alpha'$ は、スネルの法則、 $n_{\text{layer}} \cdot \sin \alpha' = n_{\text{air}} \cdot \sin \alpha$ 、ここで $n_{\text{air}}$ は、構造14内の層の反射

4, 84からの反射軌跡100, 110（点線で表示）は、一般的に正弦波曲線に従う一連の強度測定値になる。CMP装置は、反射軌跡100, 110を使用し、基板の表面から取り除かれた材料の量を決定する。

【0054】コンピュータ52は、検出器68, 88からの強度測定値を使用し、各反射軌跡100, 110に対し（ファントムライン120, 130で示された）モデル関数を発生させる。各モデル関数は、好ましくは正弦波である。特に、反射軌跡100に対するモデル関数

10  $I_1(T_{\text{measure}})$ は、以下になる。

【0055】

【数式3】

ク間周期 $\Delta T_1$ は、適合係数であり、数式1で最適化される。振幅調整係数 $k_1$ は、適合プロセスを改善する為、使用者により設定されてもよく、約0.9の数値を有する。

【0057】同様に、反射軌跡110に対するモデル関数 $I_2(T_{\text{measure}})$ は以下になる。

【0058】

【数式4】

変数、例えばピーク間周期は、周期的に再計算される。例えば、ピーク間周期 $\Delta T_1$ 、 $\Delta T_2$ は、各サイクル毎に強度測定値に基づき再計算されてもよい。ピーク間周期は、重複期間内の強度測定値から算出されてもよい。例えば、第一ピーク間周期は、研磨実行の最初の60%内で度測定値から算出され、第二ピーク間周期は、研磨実行の最後の60%内で強度測定値から算出されてもよい。位相差 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ は、通常、第一サイクルに対してのみ算出される。

【0061】いったん適合係数が決定されると、初期の薄膜層の厚さ、現在の研磨速度、取り除かれた材料の量、残りの薄膜層の厚さが算出することが可能である。

40 現在の研磨速度Pは、以下の数式で算出してもよい。

【0062】

【数式5】

(5)

指数、 $n_{\text{air}}$ は空気の反射指数、 $\alpha$ （ $\alpha_1$ 又は $\alpha_2$ ）は光線70, 90の軸外し角度である。研磨速度は、各反射軌跡から算出し、比較してもよい。

【0064】取り除かれた材料の量、 $D_{\text{removed}}$ は、研磨速度から、例えば

【0065】

$$D_{\text{removed}} = P \cdot T_{\text{measured}}$$

【0066】又は反射軌跡の一つのピーク数或いは断片的な数を数えること、更に、ピーク数を、その反射軌跡に対するピーク間膜厚 $\Delta D$ （例えば、反射軌跡100に対し $\Delta D_1$ 、反射軌跡110に対し $\Delta D_2$ ）で掛けること

$$\Delta D = \frac{\lambda}{2n_{\text{layer}} \cos \alpha'} \quad (7)$$

【0068】である。

【0069】薄膜層の初期厚さ $D_{\text{initial}}$ は、位相差 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ から算出可能である。初期厚さ $D_{\text{initial}}$ は、

$$D_{\text{initial}} = \left( \frac{\phi_1}{\Delta T_1} + M \right) \cdot \frac{\lambda_1}{2n_{\text{layer}} \cos \alpha'_1} \quad (8)$$

【0071】さらに、以下の数式に等しい。

【0072】

$$D_{\text{initial}} = \left( \frac{\phi_2}{\Delta T_2} + N \right) \cdot \frac{\lambda_2}{2n_{\text{layer}} \cos \alpha'_2} \quad (9)$$

【0073】ここで、 $M$ 及び $N$ は、整数値に等しいか近似している。従って、以下のようになる。

$$M = \left( \frac{\phi_2}{\Delta T_2} + N \right) \cdot \frac{\cos \alpha'_1}{\cos \alpha'_2} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} - \frac{\phi_1}{\Delta T_1} \quad (10)$$

【0075】実際の基板に対し、製造者は、構造14内の複数層が、幾つかのベンチマーク値より大きい厚さでは製作されないことを知っている。そのため、初期の値 $D_{\text{initial}}$ は、最大厚さ $D_{\text{max}}$ より小さくすべきであり、例えば、酸化シリコンに対し25000Åである。 $N$ の

$$N_{\text{max}} = \frac{D_{\text{max}}}{\Delta D_2} = \frac{D_{\text{max}} \cdot 2n_{\text{layer}} \cos \alpha'_2}{\lambda_2} \quad (11)$$

【0077】したがって、 $M$ の数値は、 $N=1, 2, 3, \dots, N_{\text{max}}$ の整数値の各々に対し算出することができる。数式6に対する解を主として表示すること、その為、大抵の場合は実際の厚さになりそうであることから、整数値に最も近い $M$ の数値を選択してもよい。その後、初期の厚さは、数式6, 7から算出してもよい。

【0078】もちろん、 $N$ の数値は、 $M$ の各整数値に対し算出することが可能であり、この場合、 $M$ の最大数値 $M_{\text{max}}$ は、 $D_{\text{max}}/\Delta D_1$ に等しいであろう。しかし、より長い波長に付随する変数の各整数値に対して算出する

【数式6】

(6)

により、算出することが可能であるが、ここで、

【0067】

【数式7】

以下の数式に等しい。

【0070】

【数式8】

【数式9】

【0074】

【数式10】

最大値 $N_{\text{max}}$ は、以下の数式のように、最大厚さ $D_{\text{max}}$ 及びピーク間厚さ $\Delta D_2$ から算出することができる。

【0076】

【数式11】

のが好ましいかもしれないが、これは、他の整数変数の計算には多くを要しないからである。

【0079】図8A、図8Bを参照すると、2つの仮想モデル関数140、150は、シリコンウエハ上に酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )表面層の研磨を表示する為に発生される。その仮想モデル関数140、150を表示する適合係数は、表1に挙げられている。

【0080】

【表1】

phase offset	$\phi_1 = 12.5 \text{ s}$	$\phi_2 = 65.5 \text{ s}$
peak-to-peak period	$\Delta T_1 = 197.5 \text{ s}$	$\Delta T_2 = 233.5 \text{ s}$



【0081】これら適合係数は、 $10 \text{ \AA}/\text{秒}$ の研磨速度  
に対し算出され、表2の研磨パラメータを利用してい  
た。

【0082】  
【表2】

	1st optical system	2nd optical system
material	silicon oxide	silicon oxide
initial thickness	10000 $\text{\AA}$	10000 $\text{\AA}$
polishing rate	10 $\text{\AA}/\text{sec}$	10 $\text{\AA}/\text{sec}$
refractive index	$n_{\text{layer}} = 1.46$	$n_{\text{layer}} = 1.46$
wavelength	$\lambda_1 = 5663 \text{ \AA}$	$\lambda_2 = 6700 \text{ \AA}$
incidence angle in air	$\alpha_1 = 16^\circ$	$\alpha_2 = 16^\circ$
angle in layer	$\alpha_1' = 10.88^\circ$	$\alpha_2' = 10.88^\circ$
peak-to-peak thickness	$\Delta D_1 = 1970 \text{ \AA}$	$\Delta D_2 = 2336 \text{ \AA}$

【0083】数式8を使用すると、M値は、表3に示さ  
れるように、整数値に対し算出することができる。

【0084】  
【表3】

N	M	integer of M	thickness for N	thickness for M	thickness difference
0	0.27	0	655	125	530
1	1.45	1	2992	2100	892
2	2.63	3	5329	6050	-721
3	3.82	4	7665	8025	-360
4	5.00	5	10002	9999	2
5	6.18	6	12338	11974	364
6	7.37	7	14675	13949	725
7	8.55	9	17011	17899	-888
8	9.73	10	19348	19874	-526
9	10.92	11	21684	21849	-165
10	12.10	12	24021	23824	197
11	13.28	13	26357	25799	559

12	14.47	14	28694	27774	920
13	15.65	16	31030	31723	-693
14	16.83	17	33367	33698	-331
15	18.02	18	35704	35673	30
16	19.20	19	38040	37648	392
17	20.38	20	40377	39623	754
18	21.56	22	42713	43573	-860

【0085】図示のように、最適合値、すなわち、整数  
に近いM値を与えるNの選択は、 $N=4$ 、 $M=5$ であ  
り、その結果、初期の厚さは約10000 $\text{\AA}$ になり、 $t$   
 $i$ が最大厚さより小さいという理由から許容可能であ  
る。次の最適合は、 $N=15$ 、 $M=18$ であり、その結  
果、初期厚さは約35700 $\text{\AA}$ になっている。この厚さ

は、25000 $\text{\AA}$ の予想最大初期厚さ $D_{\text{max}}$ より大きい  
ので、この解は拒否される。

【0086】そのため、本発明は、CMPプロセス中に  
基板上の表面層の初期厚さを決定する方法を提供する。  
この初期厚値から、現在の厚さ $D(t)$ は、以下のよう  
に算出可能である。

【0087】

$$D(\tau) = D_{\text{initial}} - D_{\text{removed}}(\tau)$$

【0088】通常、堆積された層に対し通常の厚さは1000Åから20000Åなので、現在の厚さと同様に初期厚も算出可能である。実際の厚さを推測する唯一の前提条件は、十分な強度測定値を有し、正確にピーク値周期及び位相オフセットを算出することである。一般的に、この為には、各波長に対し最小値及び最大値が少なくとも必要である。しかし、反射軌跡に最小値や最大値が多いほど、強度測定値は多く、実際の厚さの計算は正

確になるであろう。

【0089】例えば、一波長が他の波長の倍数である場合、波長の幾つかの組み合わせは、現場計算にとって不適切である。波長の良好な組み合わせは、奇数の関係が生じ、すなわち、 $\lambda_1/\lambda_2$ の比は、小さい整数の比と実質的に等しくあってはならない。 $\lambda_1/\lambda_2$ の比が小さい整数の比と実質的に等しい場合、数式8においてN及びMに対し、複数の整数の解が存在する可能性がある。要するに、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ は、最大初期厚内のN及びMの両方について、実質的に整数値を提供する数式8に対し

一つの解が存在するように、選択されるべきである。

【0090】さらに、波長の好ましい組み合わせは、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、その同等物のような、いろいろな誘電体層内で作動することができる筈である。小さいピークが表れるので、厚い層が研磨されなければならないときには波長が長い方が好ましい。単に最小限の研磨が実行されるときには波長が短い方がより適切である。

【0091】2つの光学システム64、84は、異なる波長及び同一伝播角度を有する光源を備えて構成することができる。また、光源66、86は、異なる波長および異なる伝播角度 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ を有することが可能である。同様に、光源66、86が、同一波長および異なる伝播角度 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ を有することも可能である。

【0092】利用可能な波長は、レーザー、発光ダイオード(LED)、又は、妥当なコストで研磨プラテン用光学システムに組み込むことができる他の光源の型によって制限してもよい。ある状況では、最適波長関係を持つ光源を使用することが非実用的の場合がある。2つの源からの光線に対する入射の異なる角度を使用することにより特に2つの軸外し光学システムが使用されるとき、システムが更に最適化される可能性がある。これはピーク間の厚さ $\Delta D$ に対する式から理解できるが、その式は、 $\lambda$ が光源の波長、 $n$ が誘電層の反射指数、 $\alpha'$ が薄膜構造における層を通る光の伝播角度である場合、 $\Delta D = \lambda / (2n * \cos \alpha')$ で表現される。そのため、有効波長 $\lambda_{eff}$ は、 $\lambda / \cos \alpha'$ として定義することができ、異なる光源の波長を最適化するときを考慮するのに重要なことは、各光源の有効波長 $\lambda_{eff}$ である。しかし、ある有効波長は、他の有効波長の整数倍であって

【数式12】

(12)

しくあってはならない。

【0093】図9、図10を参照すると、CMP装置20aは、図1、図2を参照して上述されたものに類似して構成されたプラテン24を有する。しかし、CMP装置20aは、軸外し光学システム64、垂直軸光学システム84aを含む。垂直軸光学システム84aは、ビームスプリッターや検出器88aのような横断反射面91、光源86aを含む。光線90aの一部は、ビームスプリッター91を通過し、透明ウインドウ82a、スリット36aを介して伝播し、垂直入射で基板10に当たる。この実施において、光線90aがアパーチャを通過し同一経路に沿って戻ることから、プラテン24のアパーチャ80aは小さくできる。

【0094】図11を参照すると、他の実施において、CMP装置20bは、単一の開口60bをプラテン24b内に有し、単一のウインドウ62bを研磨パッド30b内に有する。軸外し光学システム64bと垂直軸光学システム84bは、それぞれ、各光線を同一ウインドウ62bを通して導く。光線70b、90bは、基板10上に同一地点に導かれてもよい。この実施には、たった一つのインタラプター162が必要なだけである。ミラー93は、基板上のレーザーの入射角度を調整する為に使用してもよい。

【0095】図12を参照すると、他の実施例において、CMP装置20cは、2つの軸外し光学システム64c、84cを有し、それらは、光線70c、90cを基板10の同一地点に向ける。光学システム64cの光源66c、検出器68cと、光学システム84c光源86c、検出器88cは、光線70c、72cにより規定された平面が、光線90c、92cにより規定された平面と交差するように配列されてもよい。例えば、光学システム64c、84cは、互いに約90度でオフセットすることが可能である。この実施には、同様に、たった一つのインタラプターが必要なだけであり、また、入射角を修正することにより、第一光線70cの有効波長が調整されることを許容するものである。

【0096】光学システム64c、84cは異なる伝播角度 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ を使用するように図示されているが、伝播角度は、同一にすることができる。さらに、光源を(水平方向に)並べて配置することができ、光線は単一ミラー(図示せず)から離れて反射することが可能で、戻り光線は単一検出器の2つの領域に当たる可能性がある。これは、2つの光源、ミラー、検出器を単一光学モジュール内で組み合わせる助けとするつもりである。さらに、光線は基板上の異なる地点に当たる可能性がある。

【0097】図13に示された他の実施において、2つの光学システム64d、84dは、異なるモジュール内で互いに隣り合わせに配列されている。光学システム6

4 d、84 dは、それぞれ光源 66 d、86 d、検出器 68 d、88 d、ミラー 73 d、93 dを有し、記述された伝播角度  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  で基板上に光線を向ける。

【0098】光学システムとウインドウ配列の他の組み合わせも、光学システムが異なる波長で動作する限り、本発明の範囲内である、ということが分かるであろう。例えば、軸外し光学システムと垂直光学システムの異なる組み合わせは、プラテン内の同一又は異なるウインドウのいずれか一方を通じて光線を導くように配列することができる。ミラーのような追加の光学コンポーネント

$$OPL = \frac{2d \cdot n_{\text{layer}}}{\cos \alpha'}$$

【0101】により与えられ、ここで、dは構造14内の層の厚さである。一般的に、コヒーレンス長が長くなれば、信号は強くなるであろう。同様に、層が薄くなればなる程、信号は強くなる。従って、基板が研磨されるにつれて、干渉信号は、だんだんと強くなる。図14、図15に示されるように、LEDで発生される光線は、十分に長いコヒーレンス長を有し、有用な反射軌跡を提供する。図14、図15における軌跡は、470nmでのピーク放出を有するLEDを用いて発生されたものである。反射軌跡も同様に、基板が研磨されるにつれて、干渉信号は強くなることを示す。干渉測定値に対する光源としてのLEDの利用可能性は、(例えば、青や緑領域のスペクトラムにおいて)より短い波長の使用、従って、厚さ及び研磨速度の、より正確な決定を許容する。この厚さ測定用のLEDの有用性は、干渉計の測定値用にレーザーが通常使用される点、LEDがレーザーと比較すると短いコヒーレンス長を有する点を仮定すれば、驚くべきことかもしれない。

【0102】本発明の装置は、二以上の有効波長で動作する二以上の光学システムを使用することから、二つの独立した終点信号を得ることができる。二つの終点信号は、例えば研磨プロセスを終了する為に使用されるとき、クロスチェックすることができる。これにより、たった一つの光学システムを有するシステムより改善された信頼性を提供する。また、たった一つの終点が所定時間内に到来する場合、更に、他の終点が表れないとき、そのときには、これが、研磨プロセスを停止する為の条件として使用可能である。この方法では、両方の終点信号の組み合わせ、或いは一つの終点信号だけを、研磨プロセスを停止する為に十分な条件として使用してもよい。

【0103】終点が表れる前に、異なる光学システムからの信号軌跡を互いに比較し、一又は他の信号の不規則な実行を検出してよい。

【0104】基板が最初に平坦化する為に不規則的な表面地勢を有するとき、基板表面がかなりスムーズになった後、反射信号は周期的になる。この場合、初期厚さは、いったん反射信号が正弦波になったならば始まる任

は、光線が基板に当たる前に、光線の伝播角度を調整するように使用することができる。

【0099】レーザーというより、発光ダイオード(LED)は、干渉信号を発生させる為の光源として使用可能である。光源を選択するのに重要なパラメータは、光線のコヒーレンス長であり、それは、研磨された層を貫通する光線の光路長の2倍のオーダー或いはそれより大きくあるべきである。光路波長OPLは、

【0100】

【数式1.3】

(13)

意の時間で算出してもよい。さらに、終点(又は他の幾つかのプロセス制御点)を、最初又は後のサイクルを検出することによって、或いは、他の幾つかの、干渉信号の所定サインを検出することによって、決定してもよい。そのため、厚さは、いったん不規則表面が平坦化され始めると、決定される。

【0105】本発明は、ブランクウエハの状況で説明されてきた。しかし、幾つかの場合、データ信号にフィルタをかけることによりパターン構造の上にある層の厚さを測定することが可能である。このフィルタをかけるプロセスは、前述した米国特許出願第08/689,930にて検討されている。

【0106】さらに、基板は、単一の酸化層を有するシリコンウエハという状況で説明されてきたが、干渉プロセスは、他の基板、他の層、更に、薄膜構造における複数層でもうまくいく。重要なことは、薄膜構造が、部分的に衝突光線を反射し、部分的に衝突光線を伝送し、薄膜構造において、下にある層或いは複数層又はウエハが少なくとも部分的に衝突光線を反射することである。

【0107】図16、図17を参照すると、他の実施例において、CMP装置20eにおける各研磨ステーションは、たった一つの光学システムを含む。特に、CMP装置20eは、第一光学システム64eを備えた第一研磨ステーション22eと、第二光学システム64e'を備えた第二研磨ステーション22e'を含む。光学システム64e、64e'は、光源66e、66e'、検出器68e、68e'をそれぞれ含む。基板が第一研磨ステーションで研磨されるとき、光源66eは、プラテン24eの穴60e、研磨パッド30eのウインドウ62eを通して光線を導く。同様に、いったん基板が第二研磨ステーションに移動すると、光源66e'は、プラテン24e'の穴60e'、研磨パッド30e'のウインドウ62e'を通して光線を導き、基板に当てる。各ステーションでは、付随した検出器は、基板から反射された光線を測定し、干渉信号を提供し、その干渉信号は、上述した米国特許出願番号第08/689,930で検討されたように、研磨終点を決定する為に使用することができる。二つの研磨ステーションの検出器68e、68e'は、同

一コンピュータ 52e、又は異なるコンピュータに接続することができ、それは、研磨終点を検出する為に干渉信号を処理する。

【0108】光学システム 64e、64e' は、同様に構成されるが、それらは、異なる有効波長で動作する。特に、第一光学システム 64e における光線 70e の有効波長は、第二光学システム 64e' における光線 70e' の有効波長より大きくすべきである。これは、異なる波長を有する光源を使用することにより達成可能である。例えば、光源 66e は、約 800-2000nm 等の赤外スペクトラム内の光線を発生させ、一方、光源 66e' は、約 300-700nm 等の可視スペクトラム内の光線を発生させてもよい。特に、第一光線は、約 1300nm 又は 1500nm の波長を有し、第二光線は、約 400nm 又は 670nm の波長を有することが可能である。光線の有効波長も、光線の入射角度を変更することにより、調節可能である。

【0109】動作において、基板（ブランク基板あるいはパターン化されたデバイス基板のどちらでもよい）は、第一プラテンに移送され、長波長の光を使用して第一終点が検出されるまで研磨される。それから、基板は、第二プラテンに移送され、短波長の光を使用して第二終点が検出されるまで研磨される。この手続きは、堆積層の初期厚さにおいて基板間に大きな変異があったとしても、正確な終点決定を提供する。

【0110】この利点を説明する為、研磨される層の初期厚さにおける基板間の変異は、間違った終点検出を生じさせる可能性がある。特に、厚さの変異が第一光学システムのピーク間厚さ  $\Delta D$  を超える場合、そのとき、終点検出システムは干渉信号の誤ったサイクル内で終点を検出するかもしれない。一般的に、長い波長を使用する終点検出器は、低い解像度を有する。特に、干渉信号には干渉縞が少ないであろうから、研磨装置は、所望の最終厚さで正確に停止することはできない。しかし、より長い波長は、より大きいピーク間の厚さ  $\Delta D$ （数式 7 を参照）を生じる。より長い波長は、研磨される層の初期厚さにおける基板間の変異に対し、より大きな許容限度を与えること、すなわち、終点が強度信号の間違ったサイクル内で不適切に検出されることがありそうにない。逆に、短い波長を使用する終点検出器は、高い解像度を有するが、初期厚さの変異に対し低い許容限度になる。

【0111】第一研磨ステーションにおける長波長は、より大きいピーク間厚さ  $\Delta D$ 、従って、基板間の層厚さ変異に対し、より大きな許容限度を与える。第一終点検出器は、第二終点検出器と同じ位の高い解像度を持たないが、第二光学システムの一つのピーク間厚さ  $\Delta D'$  内で研磨を停止させることは、十分に正確である。第二研磨ステーションで短い波長は、最後の終点で、より正確な厚さ決定を提供する。そのため、光学システムを異なる波長で連続的に用いることにより、特に、第二波長を

第一波長より短くすることにより、研磨は、所望の終点で精度良く停止する。さらに、研磨されている層の初期厚さにおける基板間変異が、第二光学システムのピーク間厚さ  $\Delta D'$  を超える場合であっても、正確な終点検出は、達成することができる。

【0112】この処理は、一以上の研磨ステーションで複数の光学システムを使用する前述した CMP 装置の実施例において実行可能である。例えば、処理は、各ステーションで連続的に基板を研磨し、各ステーションで利用可能な 2 つの光学システムの内、一つだけを利用することにより、実行可能である。

【0113】さらに、処理は、図 1 から図 15 に図示されているように、2 つの光学システムを使用する一つの研磨ステーションで基板を研磨する間、実行することが可能である。例えば、第一光学システムは、別な方法で第一研磨ステーションで検出されるであろう終点を検出する為に使用可能であり、第二光学システムは、別な方法で第二研磨ステーションで検出されるであろう終点を検出する為に使用可能である。また、第一光学システムは、中間研磨地点を検出する為に使用することができる。中間地点が検出された後、第二光学システムは、別な方法で第一研磨ステーションで検出されるであろう終点を検出する為に使用することができる。さらに、処理は、光源の有効波長が修正し得る単一光学システムを使用する単一ステーションで実行可能であろう。例えば、光源は第一波長を有する光線を発生させる為に設定可能であり、第一終点又は中間研磨地点が検出された後、光源は、第二の異なる波長を有する第二光線を発生可能である。

【0114】ステーション 22e、22e' は、第一研磨ステーション及び第二研磨ステーションとして図 16 で図示されているが、処理は、他の研磨ステーションの組み合わせを使用して実行することができる。例えば、第一研磨ステーション及び第二研磨ステーションは、同一の長い波長光線を使用する光学システムを含み、第三研磨ステーション 25e' は、短い波長光線を使用する光学システムを含む。この場合、処理は、第二研磨ステーション及び第三ステーションで実行される。

【0115】さらに、CMP 装置の研磨精度は、いつも短い波長を使用する追加の光学システムを備えて更に改善される。例えば、第三光学システム 22e' は、光線 70e' より更に短い波長の光線を発生する光学システムを含むことができる。

【0116】さらに、一以上の光学システムを、ある研磨パラメータが変わる中間研磨地点で検出する為に使用することができる。特に、表面層の一定厚さを磨き落とした後、研磨速度や均一性を適正化する為に、プラテン回転速度、キャリアヘッド回転速度、キャリアヘッド圧、スラリ組成のような研磨パラメータを修正することが有利なことがある。例えば、2 つの光学システムを含

む研磨ステーションにおいて、第一光学システムは、幾つかの中間研磨地点を検出する為に使用可能であろうし、第二光学システムは、終点を検出する為に使用可能であろう。さらに、いろいろな波長光源を備えた単一光学システムを含む研磨ステーションにおいて、光学システムは、最初に一波長で中間研磨地点を検出し、それから、異なる波長で終点を検出する。最後に、中間研磨地点を、光線の波長を変えない単一光学システムを含む研磨ステーションで検出することができる。この実施において、同一光学システムは、連続的に使用され、研磨パラメータの変化を開始する為に最初に中間研磨地点を検出し、その後、終点を検出する。

【0117】本発明は、好適実施例という観点で説明されてきた。しかし、本発明は、図示及び記述された実施例に限定されるものではない。むしろ、本発明の範囲は、添付された請求項によって規定されるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明によるCMP装置の概略分解斜視図である。

【図2】図2は、基板の干渉計測定に対する2つの光学システムを備えた図1のCMP装置からの研磨ステーションの、部分的に断面の、概略図である。

【図3】図1のCMP装置からの研磨ステーションの概略的平面図である。

【図4】一定角度で基板に当たり、上記基板の2つの面から反射する、上記第一光学システムからの光線を図示する概略ダイアグラムである。

【図5】一定角度で基板に当たり、上記基板の2つの面から反射する、上記第二光学システムからの光線を図示する概略ダイアグラムである。

【図6】図2のCMP装置における第一光学システムによって発生し得る仮想的反射軌跡のグラフである。

【図7】図2のCMP装置における第二光学システムによって発生し得る仮想的反射軌跡のグラフである。

【図8】分図(A)及び分図(B)は、2つの仮想的モデル関数を示すグラフである。

【図9】第一の軸外し光学システム及び第二の垂直軸光学システムを有するCMP装置の概略的断面図である。

【図10】垂直入射で基板に当たり、上記基板の2つの面から反射する光線を図示する概略ダイアグラムであ

る。

【図11】2つの光学システム及び研磨パッドに一つのウインドウを有するCMP装置の概略的断面図である。

【図12】2つの軸外し光学システムと研磨パッドに一つのウインドウを有するCMP装置の概略的断面図である。

【図13】互いに配置された2つの光学モジュールを有するCMP装置の概略的断面図である。

【図14】470nmでピーク放射を有する発光ダイオードを用いて生成された、フィルタを通さなかった反射軌跡である。

【図15】470nmでピーク放射を有する発光ダイオードを用いて生成された、フィルタを通した反射軌跡である。

【図16】本発明によるCMP装置の概略的斜視図である。

【図17】図16のCMP装置からの、2つの研磨ステーションの概略的側面図である。

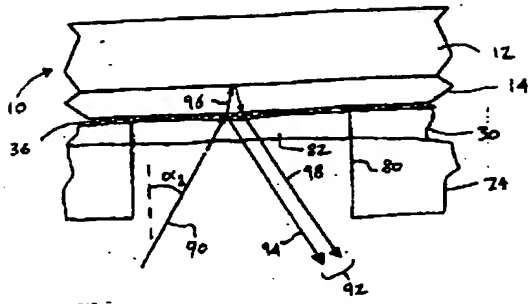
【符号の説明】

10…基板、12…ウエハ、14…薄膜構造、22…研磨ステーション、23…搬送ステーション、24…プラテン、28…パッド調節装置、30…研磨パッド、32…裏付け層、34…被覆層、36…スラリ、38…スラリ/リンスアーム、40…カルーセル、42…センターポスト、44…キャリア搬送用駆動シャフト、46…キャリアヘッド回転モータ、48…ラジアルスロット、50…キャリアヘッド、51…中心軸、52…コンピュータ、54…出力装置、60…アパーチャ、穴、62…透明ウインドウ、64…第一光学システム、66…第一光源、68…第一センサ、検出器、70…光線、72…戻り光線、74…第一反射光線、76…伝送光線、78…第二反射光線、80…アパーチャ、穴、82…透明ウインドウ、84…第二光学システム、86…第二光源、88…第二センサ、検出器、90…第二光線、94…第一反射光線、96…伝送光線、98…第二反射光線、100…反射軌跡、110…反射軌跡、120…モデル関数、130…モデル関数、140…仮想モデル関数、150…仮想モデル関数、160…位置センサ、162、164…光学インタラプタ、166…位置フラグ。

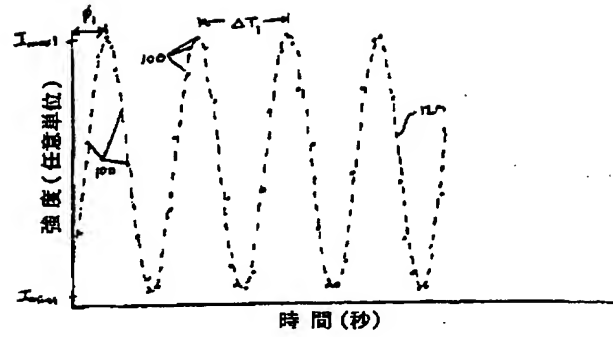




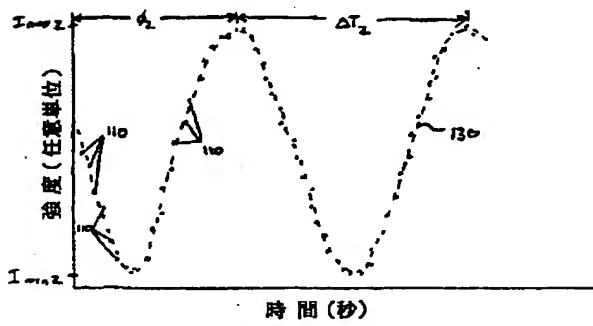
【図5】



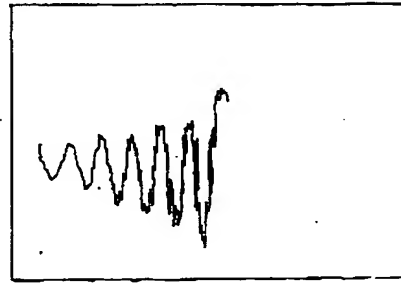
【図6】



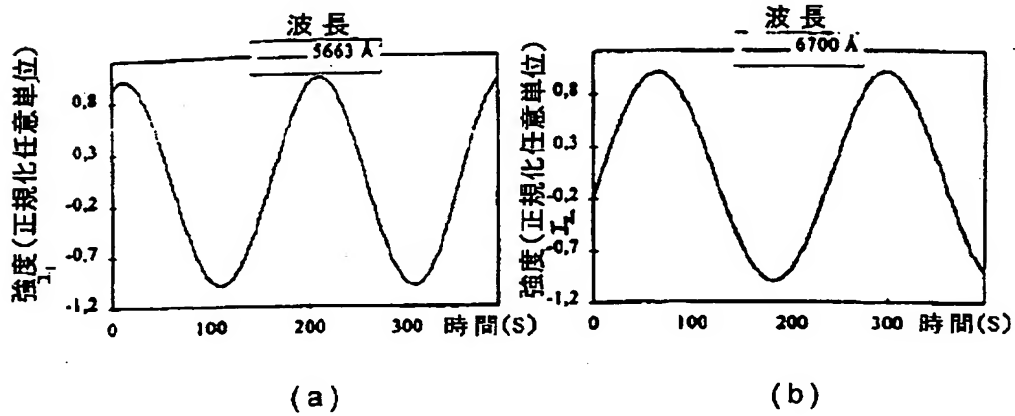
【図7】



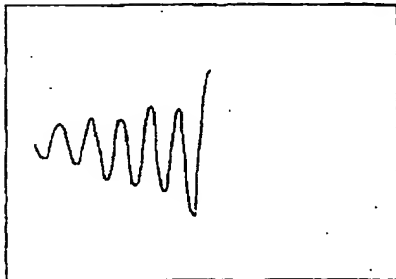
【図14】



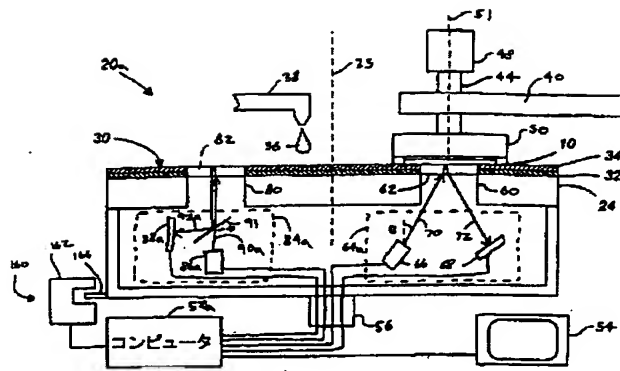
【図8】



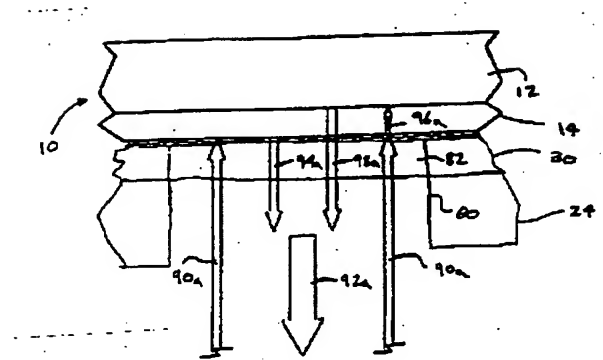
【図15】



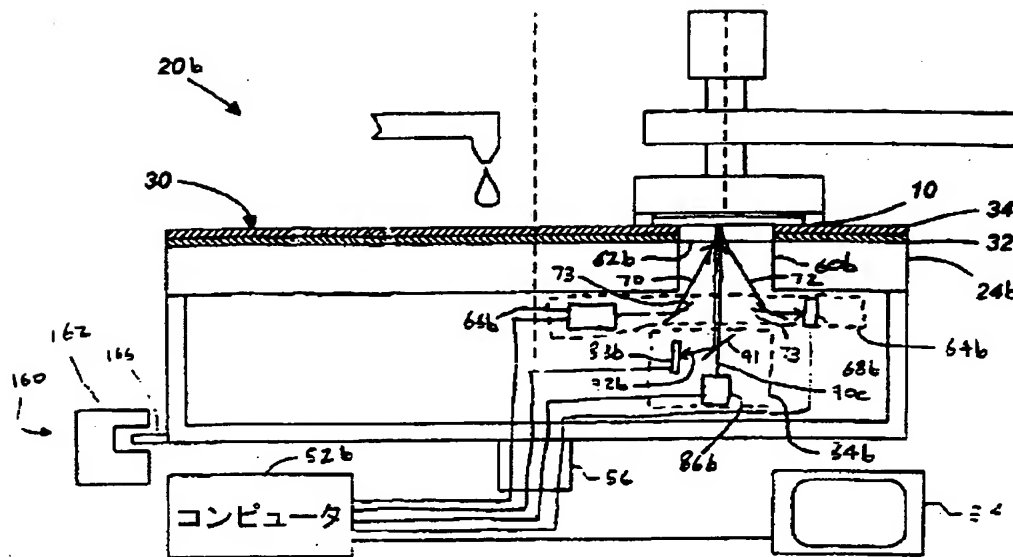
【図 9】



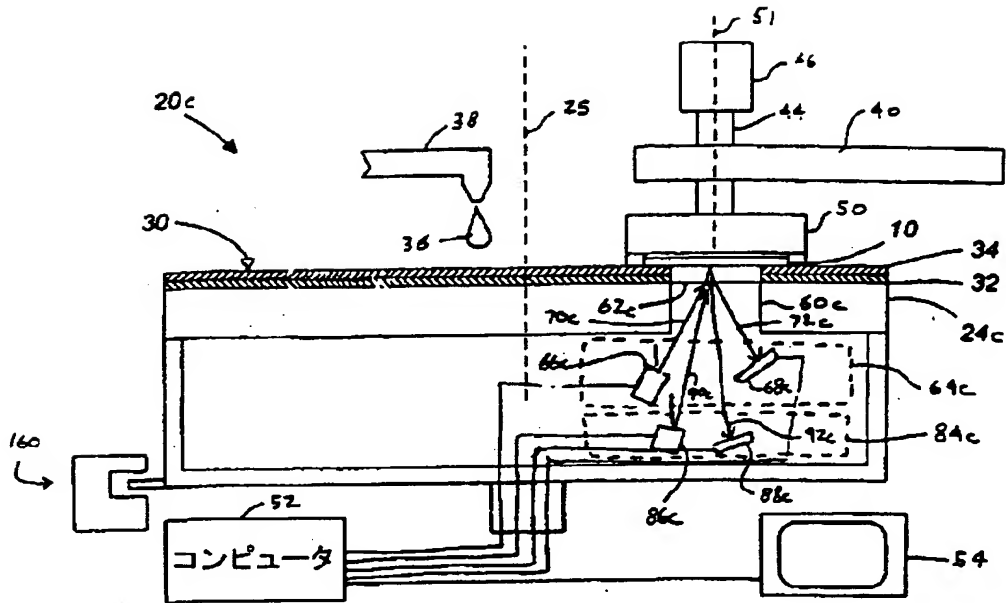
【図 10】



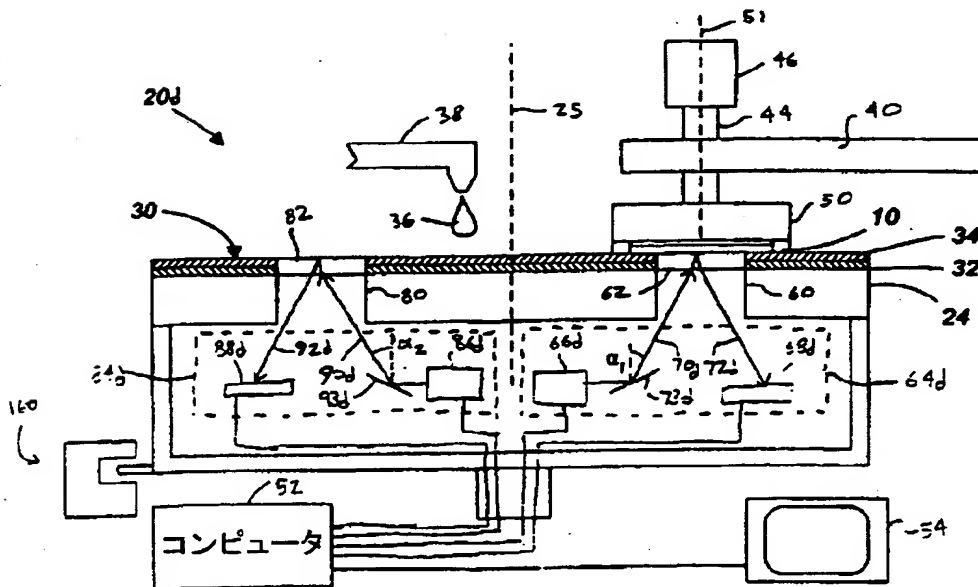
【図 11】



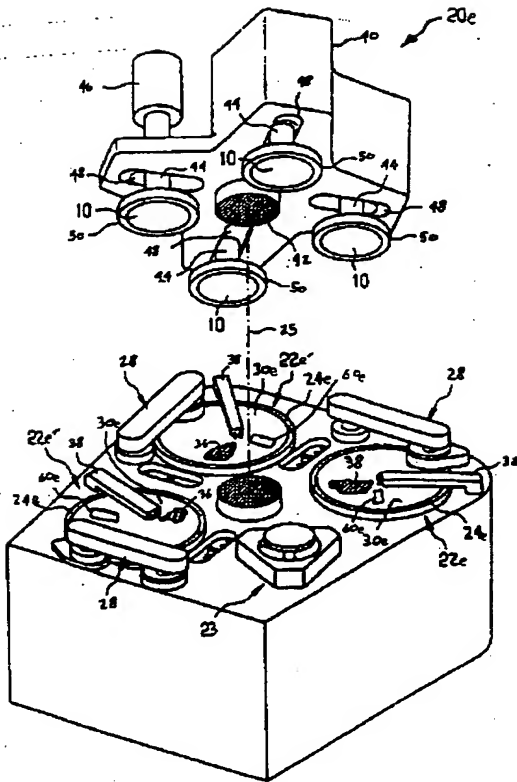
【図 12】



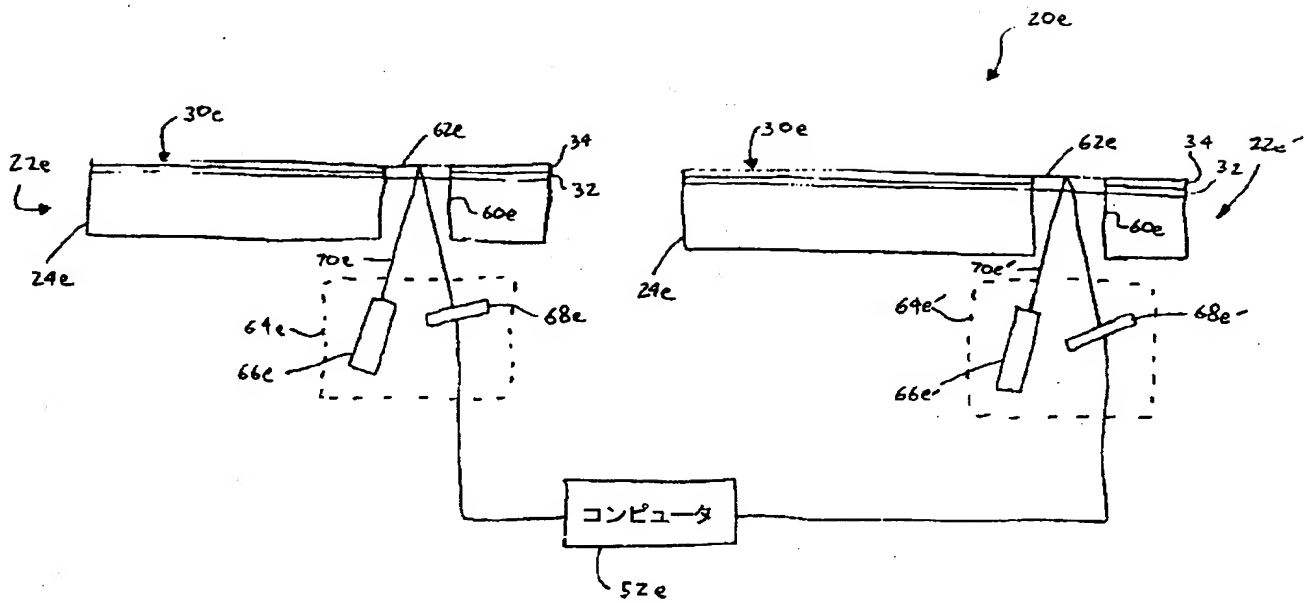
【図 13】



【図 16】



【図 17】



## フロントページの続き

(72)発明者 マヌーチャー ビラング  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、  
ロス ガトス、ファーヴル リッジ ロ  
ード 18836

(72)発明者 ヴァルター シューンレバー  
ドイツ、ホルツゲルリンゲン 71088,  
リヒトホーフェンストラッサ 1

(72)発明者 ボガスロウ スウェデク  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、  
サン ノゼ、ウィロウ レイク レーン  
1649

(72)発明者 アンドレア エヌ. ヴィスヴェサ  
ドイツ フライベルク 09599 クルトー  
ハントヴェルクーストラッサ 39